

2º CICLO DE ESTUDO
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz (Tabuaço)

Cláudia Sofia Martins da
Costa

M

2016



Cláudia Sofia Martins da Costa

**Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por
sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz (Tabuaço)**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pelo(a) Professor(a) Doutor(a) Laura Maria Pinheiro de
Machado Soares
e coorientada pelo(a) Professor(a) Doutor(a) Carlos Valdir de Meneses Bateira

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Setembro de 2016

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz (Tabuaço)

Cláudia Sofia Martins da Costa

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pelo(a) Professor(a) Doutor(a) Laura Maria Pinheiro de
Machado Soares
e coorientada pelo(a) Professor(a) Doutor(a) Carlos Valdir de Meneses Bateira

Membros do Júri

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Professora Doutora Carmen do Céu Gonçalves Ferreira
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Classificação obtida: 16 valores

Essentially, all life depends upon the soil...There can be no life without soil and no soil without life; they have evolved together.

Charles E. Kellogg, USDA Yearbook of Agriculture, 1938

Índice

Agradecimentos	8
Resumo	10
Abstract	11
Introdução	15
Capítulo I - Enquadramento conceptual e estado atual dos conhecimentos.....	18
1.1 Processos de erosão hídrica dos solos	18
1.1.1 Tipologia dos processos	19
1.1.2 Sulcos e ravinas: caracterização específica	21
1.2 Fatores condicionantes dos processos erosivos	26
1.3 Modelação dos processos erosivos: tipologia dos modelos preditivos.....	29
1.4 Erosão hídrica de solos em terraços agrícolas: estudos desenvolvidos em Portugal na área da RDD	34
Capítulo II – Caracterização da área em estudo	41
2.1 A Região Demarcada do Douro e o Alto Douro Vinhateiro: enquadramento espacial e breves notas históricas	41
2.2 Contexto biogeofísico da área em estudo	47
2.2.1 Características climáticas e morfoestruturais	47
2.3 Características e uso do solo: classificação e sistemas de armação dos terrenos	53
Capítulo III – Materiais e métodos	61
3.1 Nota introdutória	61
3.2 Inventário.....	61
3.3 Modelo Digital de Elevação	64
3.4 Análise Estatística	66
3.5 Modelação	67
Capítulo IV – Apresentação e discussão dos resultados	82
4.1 Características dos sulcos e ravinas da área em estudo.....	82
4.2 Aplicação do modelo da Regressão Logística.....	89
Considerações finais	97
Referências Bibliográficas	99
Anexos.....	105

Agradecimentos

À Professora Doutora Laura Soares pela sua orientação, troca de conhecimento e esclarecimento em todas as dúvidas colocadas. É com enorme carinho que agradeço toda a sua ajuda nas horas difíceis e o apoio incondicional, não tenho como agradecer a sua disponibilidade e carinho.

Ao meu coorientador pela ajuda prestada, pela sua disponibilidade, ensinamentos e acompanhamento ao longo do levantamento de campo.

Ao Professor António Costa que sempre se mostrou disponível para ajudar e tirar dúvidas durante a realização da dissertação. Um obrigado pela explicação na utilização do SPSS e do SAGA GIS.

À Joana Fernandes pelo apoio, carinho e demais ajuda que prestou ao longo de todo o trabalho de campo. Ainda muito obrigado pela transmissão de conhecimentos.

Ao André Oliveira pelo contributo no levantamento de campo e pelo seu companheirismo. Os dias passados em trabalho na Quinta de S. Luiz foram uma mais-valia.

Ao Bruno pela ajuda na fase final do levantamento, mas ainda pela disponibilidade na troca de saberes quanto aos MDE's por ele desenvolvidos e que utilizei neste trabalho.

Ao Engenheiro Márcio Nóbrega, pela disponibilidade prestada ao longo do trabalho de campo e ainda pela cedência de dados pertinentes sobre a Quinta de S. Luiz, agradecimentos extensivos à Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID).

Aos meus amigos Ana Maria e Paulo Lemos, pelo apoio incondicional nas horas mais difíceis, pelo carinho e amizade que me deram alento nesta fase da minha vida. Em especial ao Paulo, pelo seu olhar atento e troca de saberes.

À Inês Gomes e Elisabete Capelo pelas conversas e 'distrações', que constituíram um apoio imprescindível.

A todos obrigada por estarem sempre presentes!

Ao Vicente por todo o apoio nas horas difíceis e mais aceleradas, por não ter 'desistido' e por ser um companheiro exemplar. Obrigada!

Aos meus pais... pois sem o esforço deles e as suas palavras de incentivo não estaria a terminar esta fase. Devo-lhes anos de aprendizagem e de apoio, pelo que a eles dedico esta dissertação.

Resumo

O tema desta dissertação de mestrado debruça-se sobre os processos erosivos observados na Quinta de S. Luiz (situada na Região Demarcada do Douro), cuja morfologia original foi profundamente modificada pelos sistemas de armação de terreno em socacos e vinha ao alto. O nosso objetivo principal centra-se na avaliação da distribuição espacial da suscetibilidade à erosão hídrica de solos, por sulcagem e ravinamento. Neste contexto, visamos definir um modelo preditivo adequado à área em questão, considerando o tipo de processos em causa, a escala de análise e as características da área em estudo.

Para o efeito, foi utilizada uma metodologia que implicou uma sequência articulada de passos, iniciando-se com a inventariação das feições erosivas, a sua caracterização geométrica e análise estatística de vários parâmetros, a que se seguiu a definição das variáveis condicionantes da erosão expressas através de cartografia em formato *raster*, que foi utilizada na modelação da suscetibilidade através do método da Regressão Logística em ambiente SIG (*ArcGIS* e *SAGA GIS*). A escolha desta metodologia seguiu-se a uma tentativa de aplicação da *USLE*, um dos modelos mais utilizados mas que não se mostrou adequado ao objetivo em causa, mesmo após alterarmos a sua formulação original. Efetivamente, quer para o fator R (erosividade da precipitação), quer para o fator K (erodibilidade do solo), os dados disponíveis não permitiam a sua expressão cartográfica. Não se pretendendo quantificar as perdas de solo mas sim identificar a sua variabilidade em termos espaciais, esta metodologia mostrou-se limitada.

A opção pelo método da Regressão Logística, justifica-se pelos resultados bastante positivos que têm sido observados em trabalhos similares, considerando ainda o facto de termos procedido à inventariação de sulcos e ravinas. Os resultados que se apresentam sobre a suscetibilidade à erosão na Quinta de S. Luiz, excelentes perante os valores da curva ROC, são mais um contributo no conjunto de trabalhos que têm sido empreendidos pelo projeto MODRIS.

Palavras-chave: Erosão Hídrica, Regressão Logística, SIG, Modelação, Região Demarcada do Douro.

Abstract

The theme of this master's thesis is about the erosion processes at Quinta de S. Luiz (located in Douro Wine Region), whose original morphology was deeply modified by ground frame systems in terraces and strip cropping, cross slope ('vinha ao alto'). The aim of this study focuses on the evaluation of the spatial distribution of soil susceptibility to water erosion, by rills and gullies.

In this context, we aim to define a predictive model suitable to the area in question, considering the type of processes, the scale of analysis and the characteristics of the area under study.

To achieve objective, was used a methodology divided into an articulated sequence of steps, starting with the inventory of erosive features, its geometrical characteristics and statistical analysis of multiple parameters, followed by the definition of the erosion conditioning variables, expressed through cartography in raster format, which was used in modeling the susceptibility by the method of Logistic Regression in GIS (ArcGIS and Saga Gis). The choice of this methodology followed an attempt to apply the USLE, one of the most used models but not suitable to the objective pursued, even after we change its original formulation. Indeed, for both R factor (erosivity of rainfall) and K factor (soil erodibility), the available data did not allow its cartographic expression. Not intended to quantify soil losses but to identify the variability in spatial terms, this methodology was limited.

The option for using the Logistic Regression is justified by the very positive results that have been observed in similar work, and considering the fact that we have proceeded to rill and gully inventory. The results presented on susceptibility to erosion at Quinta de S. Luiz area, excellent according the values of ROC curve, is a further contribution in the set of works that have been undertaken by Modris project.

Keywords: Water Erosion, Logistic Regression, GIS, Modelling, Douro Wine Region

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema metodológico da Dissertação.....	17
Figura 2 Tipos de ravinas	25
Figura 3 Fatores condicionantes da erosão dos solos. Adaptado de Soares, 2008.....	26
Figura 4 Critérios de classificação dos modelos, processos de erosão simulados e dados de input. Extraído de Fernandes, 2014.	33
Figura 5 Comparação dos diferentes tipos de modelos, tendo em conta a escala de análise, as características dos dados de input e o tipo de abordagem. Extraído de Leitão, 2014.	34
Figura 6 Experiência sobre o efeito da pedregosidade na erosão do solo. Extraído de Figueiredo et al., 2009.	37
Figura 7 Enquadramento espacial. A. A RDD no contexto do território nacional. B. Sub-regiões da RDD, limite do ADV e localização da Quinta de S. Luiz. C. Quadro espacial do ADV.	42
Figura 8 Área afeta ao cultivo de vinha entre 2010 e 2014, nas três sub-regiões da RDD.	Erro! Marcador não definido.
Figura 9 Produção anual de vinho, entre 2010 e 2014, nas três sub-regiões da RDD.	Erro! Marcador não definido.
Figura 10 Variação da precipitação na área em estudo. A. Enquadramento geral da RDD; B. Parâmetros climáticos das principais estações meteorológicas; C. Variação da precipitação média mensal nas três sub-regiões da RDD; D. Zoom de A abrangendo a ADV e a quinta de S. Luiz.....	48
Figura 11 Processos de instabilidade associados a eventos de precipitação intensa. 1. Movimento de vertente, estrada Régua-Pinhão, 2001; 2. Movimentos e erosão de solos, Maio 2014; 3 e 4. Eventos de Julho de 2014.....	48
Figura 12 Valores médios mensais de precipitação e máximos respetivos.	Erro! Marcador não definido.
Figura 13 Sulcos (1) e Ravinas (2) na Quinta de S. Luiz.	Erro! Marcador não definido.
Figura 14 Enquadramento morfoestrutural da área em estudo. A. Zonamento do Maciço Varisco; B. Compartimentos geomorfológicos; C. Geologia dominante na RDD; D. Litologia e tectónica na área da quinta de S. Luiz.....	52
Figura 15 Granulometria de amostras de solo da quinta de S. Luiz. Fonte: MODRIS. .	55
Figura 16 Sistemas de armação de terreno. Socalcos pré (A) e pós filoxéricos (B) no Vale do Rio Torto; Patamares de dois (C, Quinta de Ventozelo) e um bardo (D); Micropatamares entre muros, Quinta de Noval (E); Vinha ao alto, Quinta do Seixo (F).	57
Figura 17 Área ocupada por parcelas segundo o tipo de armação de terreno (2003), nas sub-regiões da RDD.	58
Figura 18 Comparação da área ocupada por parcelas segundo o tipo de armação de terreno (2001-2012), no ADV.	59
Figura 19 Uso do solo na Quinta de S. Luiz.....	60
Figura 20 Esquema de trabalho incorporando os materiais e métodos adotados.	61
Figura 21 Ficha utilizada no inventário das feições erosivas na Quinta de S. Luiz	63
Figura 22 Localização e caracterização das feições erosivas na Bacia Hidrográfica na Qt ^a . de S. Luiz (com o modelo de 1m).	64
Figura 23 Bacias Hidrográficas segundo os modelos de precisão (MDE) de 0,20m e 0,40m, na Qt ^a S. Luiz.....	66
Figura 24 Procedimentos utilizados na definição dos parâmetros da USLE. Adaptado de Fernandes, 2014.....	68
Figura 25 Mapa da topografia (Fator LS) segundo os MDE 20cm e 40cm.	69

Figura 26 Mapa da cobertura do solo (Fator C) considerando os limites da bacia calculados através dos MDE 20cm e 40cm.	70
Figura 27 Mapa da prática agrícola (Fator P) segundo os MDE 20cm e 40cm	71
Figura 28 Resultados da aplicação da USLE.....	72
Figura 29 Localização e resultados dos ensaios in situ elaborados no âmbito do projeto MODRIS.....	73
Figura 30 Sequencia do cálculo do flow accumulation.....	74
Figura 31 Mapa do flow accumulation segundo os MDE 20cm e 40cm.	75
Figura 32 Resultados da aplicação da fórmula da USLE, utilizando as variáveis flow accumulation (em substituição do R), LS, FC e FP.....	76
Figura 33 Mapa da Curvatura segundo os MDE 20cm e 40cm.....	77
Figura 34 Mapa da Exposição segundo os MDE 20cm e 40cm.....	77
Figura 35 Procedimentos de cálculo do raster relativo à Altura dos Taludes. Extraído de Costa, 2016.....	78
Figura 36 Mapa da altura da base dos taludes segundo os MDE 20cm e 40cm.....	78
Figura 37 Mapa do índice topográfico de humidade segundo os MDE 20cm e 40cm...	79
Figura 38 Comparação dos valores de largura, comprimento e profundidade dos sulcos e ravinas da área em estudo. A linha vermelha representa o valor médio.	83
Figura 39 Comparação dos valores da área, secção e perdas dos sulcos e ravinas da área em estudo. A linha vermelha representa o valor médio.	83
Figura 40 Relação entre parâmetros geométricos de sulcos e ravinas.	84
Figura 41 Exposição de ravinas e sulcos.	86
Figura 42 Comparação entre o volume (perdas) de sulcos e ravinas com o parâmetro LS extraído dos MDE's de 20 e 40cm.	87
Figura 43 Comparação entre o volume (perdas) de sulcos e ravinas com o parâmetro ITH extraído dos MDE's de 20 e 40cm.	88
Figura 44 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para os sulcos, segundo os MDE 20cm, para 3 possíveis cenários.	90
Figura 45 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para os sulcos, segundo os MDE 40cm, para 3 possíveis cenários.	91
Figura 46 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para as ravinas, segundo os MDE 20cm, para 3 possíveis cenários.....	92
Figura 47 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para as ravinas, segundo os MDE 40cm, para 3 possíveis cenários.....	93

Índice de Tabelas e Quadros

Tabela 1 Definição de ‘sulcos’, considerando as propostas de vários autores.	23
Tabela 2 Definição de ‘ravina’, considerando as propostas de vários autores.	24
Tabela 3 Modelos de Erosão/Transporte e Sedimentação, de acordo com o tipo de modelos, escala, Input/Output e referência. Extraído de Merritt, Letcher e Jakeman, 2003.	Erro! Marcador não definido.
Tabela 4 Síntese de modelos semi-quantitativos utilizados para avaliar a erosão do solo e a produção de sedimentos à escala da bacia. Extraído de Vente e Poesen (2005). ...	Erro! Marcador não definido.
Tabela 5 Síntese de algumas das principais características consideradas em modelos semi-quantitativos. Extraído de Vente e Poesen (2005).	32
Tabela 6 Parâmetros relacionados com as características da exploração de vinha na RDD.	43
Tabela 7 Critérios e metodologias que presidiram à definição do ADV. Adaptado e Traduzido WHC Nomination Documentation, 2001.	46
Quadro 1 Cálculo de alguns parâmetros geométricos dos sulcos e ravinas.	67
Quadro 2 Valores do fator C. Extraído de Fernandes, 2015.	69
Quadro 3 Valores do fator P. Extraído de Meneses, 2011.	70
Quadro 4 Resultados dos testes de significância estatística.	80
Quadro 5 Parâmetros geométricos de sulcos e ravinas.	82
Quadro 6 Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão dos parâmetros condicionantes de sulcos e ravinas.	86
Quadro 7 Valores da AUC para os diferentes cenários testados.	94

Introdução

Apesar dos estudos sobre a erosão e conservação dos solos se terem intensificado a partir do século XX, ainda hoje a Humanidade não consegue compreender a verdadeira utilidade que este recurso natural desempenha na sustentabilidade do Planeta Terra. Embora possua uma grande variedade de funções vitais, de índole ambiental, ecológica, social e económica, que lhe permite inferir-se como um importante elemento paisagístico e patrimonial, palco do desenvolvimento de infraestruturas e atividades antrópicas, a sua crescente degradação (intensificada e em alguns casos desencadeada pela ação antrópica) acaba por condicionar em muito o desenvolvimento de vastas áreas (Ferreira, 1996-1997; Ferreira, 2008; Almeida *et al.*, 2012; Fernandes, 2014).

A Região Demarcada do Douro (RDD) e, no seu contexto, a Quinta de S. Luiz, onde se insere a bacia hidrográfica que constitui a área de estudo onde desenvolvemos a presente dissertação, é talvez um dos exemplos mais marcantes da forma como o Homem é capaz de alterar intensamente a morfologia de um território para servir as suas práticas, utilizando um sistema cuja origem é difícil de estabelecer mas que servia para minimizar os efeitos da erosão hídrica dos solos: os terraços ou socacos agrícolas¹.

Esta região, marcada por um relevo extremamente acidentado onde à estrutura geológica (litologia e tectónica) se associa um clima de cariz mediterrâneo “acentuado pela posição topográfica” (Daveau, 1977, 1988), apresenta uma ‘vocação’ tradicionalmente rural cuja população, procurando subsistir numa área ‘agreste por natureza’, criou uma paisagem única que é hoje reconhecida internacionalmente, recebendo, parte do seu território (o Alto Douro Vinhateiro), a classificação de Património da Humanidade.

Esta classificação assenta em vários critérios, designadamente a conservação dos terraços agrícolas e dos muros de pedra em seco que os suportam, mas nos últimos anos a necessidade de rentabilizar as explorações tem motivado o desenvolvimento de outras formas de armação do terreno. E se estas formas suscitam alguma preocupação, principalmente os patamares com taludes em terra, também é certo que se têm difundido ‘boas práticas agrícolas’ que orientam os agricultores para a proteção dos solos, face,

¹. *The most common geomorphic legacies revealing attempts to prevent soil erosion on hillslopes in Europe are terraces that were formed by tillage or construction. They are very common throughout Europe's farmland areas and particularly impressive in the case of vineyards (Petit et al., 2012). Some terraces in Mediterranean Europe have probably been constructed as early as the Bronze Age (Dotterweich, 2013, p.4).*

designadamente, à atuação dos processos de erosão hídrica.

Neste contexto, o objetivo (e preocupação) principal da presente dissertação visa definir a variação espacial da suscetibilidade à erosão dos solos, utilizando como área de estudo uma pequena bacia hidrográfica da Quinta de S. Luiz e recorrendo a Modelos Digitais de Elevação (*MDE's*) com resolução de 20 e 40cm.

Sabemos que são vários os modelos preditivos desenvolvidos na tentativa de identificar as áreas com maior e menor suscetibilidade à erosão, dependendo a sua seleção do tipo de processos, da escala de análise e dos objetivos que se pretende atingir. A *USLE* – *Equação Universal de Perda de Solo*, deve ser o modelo mais conhecido e utilizado para o efeito, mas existem muitos outros modelos (mais de 80 tendo em conta a bibliografia consultada). A título de exemplo refira-se o *SIMWE* (*Simulation of Water Erosion*), que foi inclusivamente aplicado na Quinta de S. Luiz numa bacia próxima da selecionada neste trabalho.

No nosso estudo, optamos pelo modelo da Regressão Logística (RL), não sem antes demonstrar que a *USLE*, quer na sua versão original, quer nas alterações que introduzimos, não produz resultados que nos permitam responder ao nosso objetivo. Assim, partindo da inventariação das feições erosivas presentes na área em estudo (sulcos e ravinas) e definidas as variáveis condicionantes que nos pareceram mais pertinentes (avaliadas pela sua significância estatística), procedemos à aplicação do modelo em ambiente SIG (*ArcGIS*), traçando vários cenários em função do tipo de processo (sulcagem ou ravinamento), *MDE* de base e variáveis selecionadas.

Assim, esta dissertação de Mestrado subdivide-se em quatro capítulos. O primeiro é dedicado ao enquadramento conceptual, procurando-se, com base numa cuidada pesquisa e revisão da literatura científica, abordar conceitos e questões inerentes aos processos de erosão hídrica do solo (designadamente a tipologia dos processos, a caracterização de sulcos e ravinas, os fatores condicionantes da erosão hídrica e os modelos preditivos), terminando-se com uma breve informação aos estudos e projetos de investigação desenvolvidos no âmbito do tema em análise na RDD.

No segundo capítulo, apresenta-se o enquadramento da área de estudo, salientando-se, ainda que de uma forma breve, os principais aspetos relacionados com a morfologia, tectónica, litologia, clima, e uso do solo que lhe são tão característicos, contribuindo para definir a identidade histórica, cultural e socioeconómica desta região.

O terceiro capítulo é dedicado aos materiais e métodos aplicados para prossecução

do objetivo da presente dissertação. Desta forma, explicam-se todos os procedimentos efetuados ao nível da elaboração do inventário das feições erosivas; as análises estatísticas relacionados com a interpretação da sua geometria, assim como na definição da significância das variáveis ou fatores de erosão a incorporar na modelação; e a modelação propriamente dita, em que incluiu o teste da *USLE* e a explicação da *RL*.

No quarto e último capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados relativos à erosão hídrica na Quinta de S. Luiz, seguindo-se as considerações finais.

O esquema da fig. 1, sintetiza as diferentes fases de trabalho envolvidas na nossa dissertação.

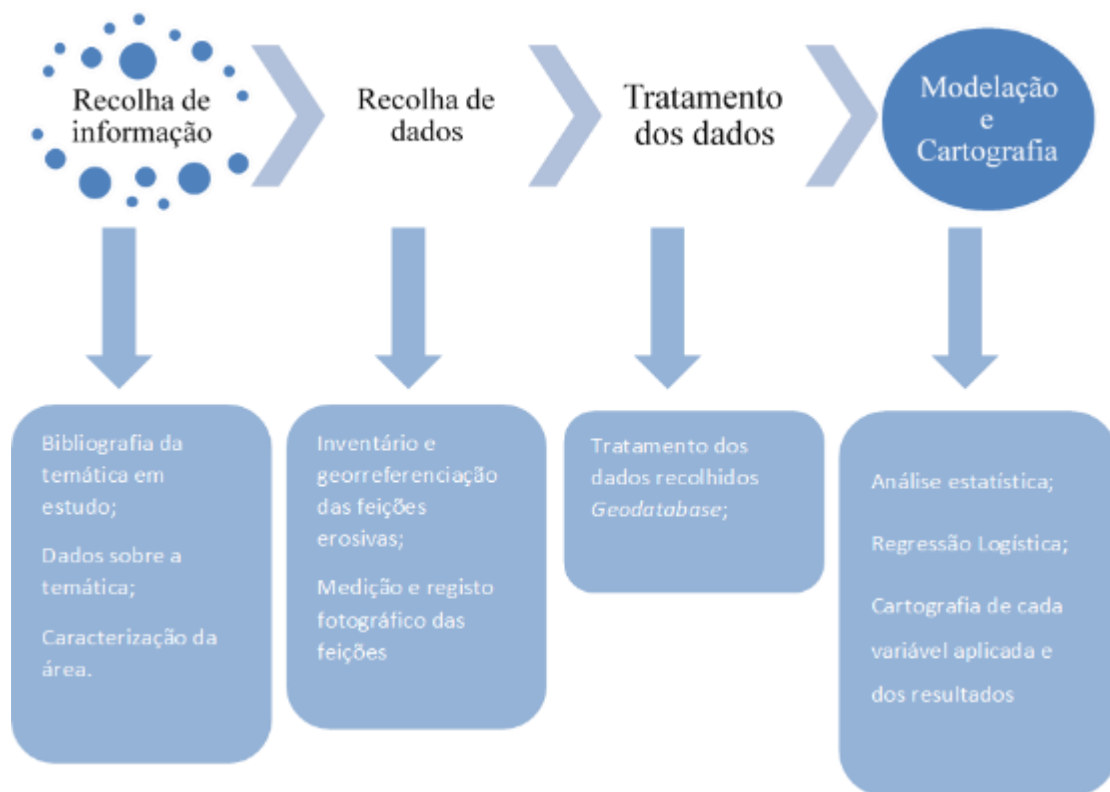


Figura 1 Esquema metodológico da Dissertação.

Capítulo I - Enquadramento conceptual e estado atual dos conhecimentos

1.1 Processos de erosão hídrica dos solos

A erosão hídrica dos solos constitui, em muitos locais, um grave e peculiar problema no que concerne às propriedades do solo, devido aos processos geomorfológicos e hidrológicos que o afetam (Bryan, 2000). Em muitos dos casos, este problema não é sequer pensado ou, quando notório, a componente desvalorizada é sempre aquela que subjaz à proteção deste, uma vez que se marginaliza o paradigma do solo como a camada mais importante que sustenta a vida do ser humano, cuja importância reside na produção de alimentos que permitem a sobrevivência da Humanidade. Aliás, embora seja a sua principal função, e principalmente desde a Época Romana, perspetiva-se o solo como o suporte das principais atividades não só agrícolas, como económicas e comerciais: é o suporte das principais infraestruturas que apoiam a economia local, nacional e global (Blum, 2005).

Para além disso, o solo tem um impacto direto sobre a distribuição, armazenamento, infiltração e circulação/escoamento da água, pelo que integra o conjunto de fatores que condicionam, por exemplo, ocorrência de cheias e movimentos de vertentes. Salienta-se, ainda, o seu papel de ‘filtro’ protetor da qualidade dos aquíferos ou dos próprios cursos de água, contribuindo para diminuir a poluição motivada pelo uso de químicos na agricultura e os processos de eutrofização (Bouma, 2006; Leitão, 2014). Embora se tenha consciência desta realidade – a proteção do solo para a sobrevivência do Homem –, hoje, mais do que nunca, dá-se ‘alento’ aos problemas que o afetam. A consciência de que estes devem ser resolvidos leva-nos a assumir posturas pró-ativas e a (tentar) solucioná-los, fomentando-se o desenvolvimento de metodologias que, na atualidade, privilegiam a modelação de processos, recorrendo-se à aplicação de equações cada vez mais alteradas (por exemplo, *USLE/MUSLE/RUSLE*), assim como *softwares* sofisticados (i.e. *SWAT-MODFLOW*, *WESP*, *SIMWE*) integrados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG),

que nos permitem chegar a resultados mais rápidos, precisos e concretos (Wischmeier e Smith, 1978; Merritt, Letcher e Jademan, 2003; Fernandes, 2014)².

Desta forma, e apetrechados com tais mecanismos, a comunidade científica, no que respeita a esta temática, valoriza *A relação específica dos processos erosivos e forças de erosão, de modo que a discussão das características dos processos são essenciais para compreender os efeitos das dinâmicas das propriedades do solo* (Bryan, 2000:387).

É vasta a bibliografia que se dedica à classificação dos processos de erosão hídrica dos solos. Efetivamente, é uma temática abordada por investigadores de diferentes domínios científicos, assim como integra, obrigatoriamente, artigos e dissertações que se dedicam ao estudo destes processos. Assim não é nosso propósito a sua descrição exhaustiva, mas sim uma abordagem resumida das suas principais características (ponto 1.1.1), de forma a enquadrar o nosso trabalho. Neste contexto, será nossa preocupação essencial a descrição dos tipos/feições erosivas dominantes na nossa área de estudo (ponto 1.1.2.).

1.1.1 Tipologia dos processos

Em termos globais, podemos considerar que a erosão hídrica do solo é um processo que envolve o destacamento ou remoção das suas partículas, através da atuação conjugada da precipitação/escoamento superficial (fatores de erosividade) e das características dos materiais e do meio sobre que atuam (fatores de erodibilidade). A maior ou menor intensidade que assume vai depender destes fatores, que controlam igualmente o tipo de processos dominantes (Selby, 1993; Grimm *et al.*, 2002; Soares, 2008).

Morgan (2005) subdivide em 3 fases a erosão hídrica do solo, cada uma envolvendo processos específicos e correspondendo a última à deposição dos materiais transportados, pelo que nos interessa aqui destacar as duas iniciais.

A primeira fase implica o destacamento individual de materiais do solo, o que é motivado pelo impacto das gotas de água da chuva (*rainsplash*). Trata-se de um processo que embora possa ter uma capacidade erosiva elevada não é muito efetivo em termos do transporte das partículas, podendo no entanto agravar-se em função da intensidade da precipitação, pelo efeito que esta exerce sobre a dimensão e velocidade que as gotas de

² . No ponto 3 deste capítulo abordaremos de forma específica a questão dos modelos aplicados no estudo da erosão dos solos.

chuva assumem (Leitão, 2014). Acrescem ainda, como fatores condicionantes, a direção e velocidade do vento, o declive das vertentes e a própria granulometria e agregação das partículas. Como refere Meneses (2011, p.11),

A inclinação das gotas de chuva, dependente da velocidade e direcção do vento, é importante na determinação do sentido de deslocação das partículas e na distância que estas são deslocadas, ou seja, quando estas gotas têm o mesmo sentido de inclinação da vertente (concordante) a deslocação é superior, face ao oposto, havendo aqui movimento dos sedimentos e pequenas gotas de água, por um lado, devido à projecção das partículas desagregadas após o impacto da gota de chuva, e por outro, o transporte destas pelo vento (rolamento, saltação ou suspensão) para áreas mais distantes.

A segunda fase implica o transporte das partículas desagregadas por escoamento superficial, que pode assumir diferentes tipologias conforme este é difuso, processando-se de forma laminar e promovendo a designada erosão em manto (*sheet/rainwash*, *interrill erosion*), ou concentrado dando origem à erosão linear: erosão por sulcos (*rillwash*) e ravinas (*gully*)³. Salienta-se, no entanto, que embora cada um dos processos possa atuar de forma isolada, alguns autores consideram que eles se podem conjugar e suceder no espaço e no tempo (Bryan, 2000). Ou seja, (...) *one soil erosion process can act as a delivery mechanism for another* (Soares, 2008, p. 111, apud Lobb, 2003)⁴.

O escoamento superficial laminar difuso (*sheetwash* ou *rainwash*), desenvolve-se normalmente quando a capacidade de infiltração de água do solo é ultrapassada, dando origem a uma ‘toalha’ de água que vai transportar materiais previamente desagregados, sendo mais frequente em áreas de declive pouco acentuado e com menor densidade de vegetação (Tomás, 1993; Geng *et al.*, 2015). Note-se que as próprias partículas destacadas do solo pelo impacto das gotas de chuva tendem a contribuir para o desenvolvimento deste processo, uma vez que vão preencher os vazios do solo promovendo a sua colmatção e, conseqüentemente, reduzindo a sua capacidade de infiltração a valores que podem exceder os 50% (Morin, Benyamini e Michaeli, 1981).

³. Sobre a definição e principais características destes processos, Leitão (2014) apresenta na sua dissertação de mestrado um pequeno ‘glossário ilustrado’ (pp.13/14), bastante útil à sua compreensão.

⁴. *Existe uma conexão entre os primeiros estágios do processo erosivo, quando o escoamento das águas ainda se apresenta difuso (Merrit, 1984), como escoamento em lençol, que também é denominado no Brasil de escoamento laminar, até a formação das ravinas e da sua possível evolução para uma voçoroca (Guerra, 1995), ou para uma verdadeira rede de canais conectados (Dietrich e Dunne, 1993). Guerra, 1997, p.22*

Mas este escoamento difuso pode transformar-se em linear, pela sua concentração eventual em locais específicos da superfície do solo, iniciando a formação de pequenos canais ou sulcos (*rills*) que se podem desenvolver em (...) *topographic hollows, in tillage marks, or from random irregularities on the land surface* (Bergsma *et al.*, 1996, p.26). Estes sulcos normalmente não excedem os 30cm de profundidade, atuando em simultâneo como ‘mecanismo’ de transporte das partículas derivadas dos processos anteriores e como fonte adicional de materiais à medida que sofrem alargamento e aprofundamento (Selby, 1993; Bergsma, *op.cit.*).

Considerando esta evolução os sulcos podem dar origem à formação de ravinas (*gullies*), considerando-se que podem derivar, para além da progressiva incisão dos sulcos associada ao escoamento superficial, do colapso de túneis subsuperficiais (*pipe erosion*). Estas feições erosivas assumem dimensões que podem variar entre os 20/30cm e os 20 metros, provocando graves prejuízos, uma vez que, ao contrário dos canais anteriores que podem ser reparados por práticas agrícolas comuns, as ravinas implicam medidas mais complexas. Para além disso, como é óbvio, são responsáveis por quantitativos de erosão muito superiores ao dos outros processos, sendo considerados (...) *the most important source of sediment production in the Mediterranean landscape* (Campo-Bescós *et al.* 2013, p. 2159).

1.1.2 Sulcos e ravinas: caracterização específica

Considerando que na nossa área de estudo dominam os sulcos e ravinas, consideramos importante analisar mais pormenorizadamente a sua definição e características, resumindo nas tabelas 1 e 2 as propostas de vários autores.

Em termos gerais e recorrendo aos vários aspetos focados nas definições apresentadas, os ‘sulcos’ (*rill*) podem ser considerados pequenos canais ou depressões lineares superficiais, com uma profundidade não superior a 30cm, correspondendo a uma fase inicial da erosão linear. A sua origem associa-se à concentração do escoamento superficial em sectores específicos do terreno (devido, por exemplo, às suas irregularidades do terreno - microtopografia), na sequência de eventos de precipitação, evoluindo progressivamente ao longo do tempo por ação dos fluxos de água cuja velocidade e turbulência vai aumentando, promovendo a desagregação e transporte das partículas de solo (Soares, 2008; Leitão, 2014).

Os sulcos tendem a formar uma rede de canais que normalmente se desenvolvem perpendicularmente à vertente (de acordo com o declive) e ocorrem em séries de linhas paralelas (Nasri *et al.*, 2008), exceto se se verificarem alterações na geometria das vertentes ou se existirem obstáculos que os obrigam a convergir ou divergir (Tomás, 1992). No entanto, alguns autores consideram que eles se distribuem uniforme e aleatoriamente sobre o terreno, uma vez que a sua formação depende principalmente de fatores intrínsecos do solo (estabilidade estrutural, condutividade hidráulica) e da prática agrícola (Lafayette, Cantalice e Coutinho, 2011; Casalí, Giménez e Campo-Bescós, 2015).

Facilmente eliminados por práticas agrícolas normais, critério frequentemente utilizado para os distinguir das ravinas, os sulcos habitualmente não ocorrem ao longo das linhas de drenagem (o que acontece geralmente com as ravinas) e podem ter um carácter semipermanente - o que depende do comportamento do escoamento superficial -, embora sejam com mais frequência canais efémeros cuja posição varia lateralmente de ano a ano, de acordo com um ciclo sazonal de desenvolvimento e destruição (Bull e Kirkby, 1997). No entanto, os sulcos são muitas vezes uma fase de transição para as ravinas, evoluindo por progressivo aprofundamento e alargamento associado à ação direta do fluxo que neles circula.

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuaço)

Tabela 1 Definição de ‘sulcos’, considerando as propostas de vários autores.

Autor	Ano	Definição	Referência
Tomás, Pedro	1992	<i>Os sulcos são tipicamente pequenos e numerosos rasgos na superfície do terreno desenvolvidos por concentrações do escoamento, que tendem a apresentar uma configuração paralela ao longo da encosta, excepto quando localmente se tem alterações de geometria que os obrigam a convergir ou divergir.</i>	<i>Estudo da Erosão Hídrica dos Solos em Solos - Agrícolas Aplicação à Região Sul de Portugal.</i> Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa
Bull e Kirkby	1997	<i>... são canais efêmeros que variam lateralmente de ano a ano, normalmente com um ciclo sazonal de desenvolvimento e destruição. Os autores afirmam que são inerentemente associados a uma retroalimentação negativa, a qual inibe a sua subsequente formação no mesmo local, de modo que seu efeito cumulativo é rebaixar a encosta mais ou menos uniformemente.</i>	Retirado de Stabile R.: <i>Limites críticos topográficos de feições erosivas lineares em Piratininga (SP).</i> Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
Ricardo S.S. Amorim; Demetrius D. da Silva; Fernando F. Pruski; Antonio T. de Matos	2001	<i>A erosão em sulcos resulta da concentração do escoamento superficial produzido por uma chuva, ocasionando a formação de pequenos canais que podem ser facilmente desfeitos pelas práticas de cultivo</i>	Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. <i>Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental</i> , v.5, n.1, p.124-130.
Laura Soares	2008	<i>... o escoamento superficial pode concentrar-se de forma linear em sectores específicos (devido, por exemplo, às irregularidades do terreno - microtopografia), passando a escoar em pequenos sulcos efêmeros, habitualmente designados ‘rills’</i>	<i>A importância das formações superficiais no âmbito dos processos de erosão hídrica e movimentos de vertente no NW de Portugal.</i> Tese de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
Masoud Nasri; Sadat Feiznia; Mohammad Jafari; Hasan Ahmadi	2008	<i>Um sulco é uma depressão linear superficial que se desenvolve após a precipitação. Os sulcos normalmente encontram-se alinhados perpendicularmente à vertente e ocorrem em séries de linhas paralelas. É causado pela ação da água do escoamento, que se vai canalizando em depressões do solo que se vão aprofundando ao longo do tempo. Assim, um sulco é o resultado da ação de lavagem da água num canal. Uma distinção frequentemente aceite entre sulcos e ravinas, aplicada no âmbito da conservação dos solos, é que os primeiros podem ser eliminados por práticas agrícolas normais, enquanto as ravinas requerem intervenções maiores. Os sulcos tendem a ocorrer em vertentes, enquanto as ravinas ocorrem ao longo das linhas de drenagem</i>	<i>Using Field Indices of Rill and Gully in order to Erosion Estimating and Sediment Analysis (Case Study: Menderjan Watershed in Isfahan Province, Iran).</i> World Academy of Science, Engineering and Technology, 43, 370 – 376.
Meneses, Bruno	2011	<i>O sulco, resulta do transporte das partículas de solo desagregadas através da concentração da escorrência superficial, onde o seu alargamento progressivo da origem ao barranco, uma forma com profundidade superior ao metro, podendo este processo evoluir e atingir formas de maiores dimensões, ou seja, os denominados valeiros.</i>	<i>Erosão Hídrica dos Solos - Caso de estudo do Concelho de Tarouca.</i> Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
Kaliny Patricia Vaz Lafayette; José Ramon Barros Cantalice; Roberto Quental Coutinho	2011	<i>A erosão em sulcos constitui a segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo, que é marcada pela mudança da forma do escoamento. De difuso, sobre a superfície do solo na fase inicial da erosão em entre sulcos, tal processo se concentra, na segunda fase, em pequenas depressões da superfície do solo chamadas de sulcos de erosão. Quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento da espessura, elevando, portanto, a capacidade do escoamento em desagregar o solo. Em condições naturais, esses pequenos canais ocorrem de maneira espaçada e aleatória, formando uma rede de canais que pode desagregar e transportar grande quantidade de solo.</i>	Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. <i>Revista Brasileira de Ciência do Solo</i> , vol. 35, núm. 6, pp. 2167-2174.
Stabile, R	2013	<i>... feições de pequenas dimensões resultantes do escoamento concentrado da água na encosta, facilmente corrigidas pelo manejo do solo.</i>	<i>Limites críticos topográficos de feições erosivas lineares em Piratininga (SP).</i> Universidade de São Paulo
Fernandes, Joana	2014	<i>... a erosão em sulcos (rill erosion), corresponde a uma fase ‘incipiente’ da erosão linear.</i>	<i>Modelação de Processos Erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta de S. Luiz.</i> Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
Leitão, António	2014	<i>A erosão em sulcos desenvolve-se à medida que o escoamento superficial se começa a concentrar, aumentando a velocidade e a turbulência do fluxo, o que pode levar ao destacamento e transporte de materiais do solo. Esta ação provoca a formação de canais lineares estreitos - os sulcos - com uma profundidade não superior a 30cm e que podem ser reparados por máquinas agrícolas comuns. Os sulcos são muitas vezes uma fase de transição para as ravinas, podendo no entanto ter um carácter semipermanente, dependendo esta dinâmica do comportamento do escoamento superficial</i>	<i>Processos erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta das Carvalhas.</i> Dissertação de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto
J. Casali; R. Giménez; M. A. Campo-Bescós	2015	<i>A erosão por sulcos desenvolve-se sob a forma de canais com alguns centímetros de profundidade, que se distribuem uniforme e aleatoriamente sobre o terreno, sendo facilmente obliterados pelas práticas agrícolas... Os sulcos ocorrem inteiramente numa só vertente; a sua formação é, assim, principalmente dependente da elevada variabilidade dos factores intrínsecos do solo (estabilidade estrutural, condutividade hidráulica) e da prática agrícola.</i>	Gully geometry: what are we measuring? <i>SOIL</i> , n° 1, pp. 509–513

Tabela 2 Definição de 'ravina', considerando as propostas de vários autores.

Autor	Ano	Definição	Referência
Tomás, Pedro	1992	A precipitação e o escoamento modelam a superfície das encostas, originando canais naturais efémeros designados por ravinas, que recolhem e conduzem para jusante a maior parte do escoamento e sedimentos. As ravinas são geralmente as unidades morfológicas que sucedem os sulcos, tanto por amplificação da escala dos processos como pela consolidação de sulcos que não são eliminados por sucessivas práticas agrícolas ou de conservação do solo.	Estudo da Erosão Hídrica dos Solos em Solos - Agrícolas Aplicação à Região Sul de Portugal. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa
Billi, P.; Framis, F.	2001	O desenvolvimento de ravinas tem vários impactos negativos porque normalmente envolve a perda e (em alguns casos) a deposição de grande quantidade de solo. Em muitos países, a perda de grandes massas de solo através da erosão por ravinas pode levar à depleção deste recurso natural básico. Para além disso, a formação de ravinas implica a alteração do fluxo superficial, uma diminuição do tempo associado ao pico do escoamento e um aumento do seu volume.	Geomorphological investigation on gully erosion in the Rift Valley and the northern highlands of Ethiopia, Elsevier, Catena 50 (2003) 353–368
Masoud Nasri; Sadat Feiznia; Mohammad Jafari; Hasan Ahmadi	2008	Uma ravina é uma depressão ou canal profundo, que parece uma extensão recente e ativa dos canais de drenagem naturais. Evoluem progressivamente para montante e podem assumir grandes dimensões (vários metros de largura e profundidade). São provocadas pela ação do escoamento canalizado em 'sulcos' que aprofundam ao longo do tempo para formar cabeceiras com lados abruptos. Tendem a formar-se em vertentes extensas e áreas com pouca vegetação e são frequentes em solos argilosos.	Using Field Indices of Rill and Gully in order to Erosion Estimating and Sediment Analysis (Case Study: Menderjan Watershed in Isfahan Province, Iran). World Academy of Science, Engineering and Technology, 43, 370 – 376.
Kalinny Patricia Vaz Lafayette; José Ramon Barros Cantalice; Roberto Quental Coutinho	2011	As ravinas consistem em uma das formas de erosão hídrica com escoamento superficial concentrado em encostas de áreas degradadas e, ainda, sem escoamentos de subsuperfície. As ravinas resultam do aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos de erosão pela ação contínua da ação cisalhante do escoamento. No entanto, nas ravinas só ocorre escoamento superficial, o que as diferencia das voçorocas. Assim, o comportamento hidráulico do escoamento superficial das ravinas é o mesmo dos sulcos de erosão.	Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 6, pp. 2167-2174.
Stabile, R	2013	...feições alongadas resultantes do escoamento concentrado da água na encosta, onde atuam processos de desprendimento de material no seu leito e taludes pela concentração das águas superficiais. Estas feições ocorrem desconectadas da rede de drenagem.	Limites críticos topográficos de feições erosivas lineares em Piratininga (SP), Universidade de São Paulo
Bergonse, Raffaello	2014	Canal relativamente fundo, instável e em processo de erosão que evolui através da conjugação entre um escoamento efémero em contextos de alimentação em precipitação, e movimentos de massa.	Dinâmica Espacial e Temporal do Ravinamento na Margem Esquerda da Bacia do Baixo Tejo: Formas, Processos e Factores. Tese de Doutoramento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa
Fernandes, Joana	2014	...a erosão em ravinas (gully erosion), que vai dar origem a feições de características diferenciadas a que por vezes correspondem termos distintos (i.e. ravinas efémeras/ravinas permanentes)	Modelação de Processos Erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta de S. Luiz, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto
Leitão, António		A ravina é um canal relativamente fundo, instável e em processo de erosão, que se forma na cabeceira, lados ou fundo de um vale, onde nenhum canal existia previamente. A profundidade das ravinas pode variar entre os 20 e os 30cm e os 20 metros, não sendo, ao contrário dos sulcos, reparáveis pelos equipamentos tradicionais utilizados na atividade agrícola. As ravinas requerem equipamento pesado e técnicas especiais para a sua estabilização. Brice (1966), citado por Henriques (2009), faz referência a medidas que visam 'recuperar' das ravinas, sendo a revegetação considerada a mais efetiva, já que protege o solo contra a mobilização pela água e, simultaneamente, diminui a velocidade do escoamento.	Processos erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta das Carvalhas. Dissertação de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto
J. Casali; R. Giménez; M. A. Campo-Bescós	2015	As ravinas permanentes distinguem-se das efémeras. As permanentes são canais de erosão cujas dimensões não permitem que sejam eliminadas pelas práticas agrícolas convencionais. As ravinas efémeras são, como os sulcos, passíveis de serem eliminadas pela prática tradicional. No entanto, quando se formam de novo, tendem a aparecer nos mesmo locais, contrariamente ao que se observa nos sulcos. Isto explica-se pelo facto das ravinas se formarem nos talvegues, áreas de confluência de duas vertentes, o que condiciona a trajetória do escoamento.	Gully geometry: what are we measuring? SOIL, n° 1, pp. 509–513

Com efeito, as ravinas podem ser definidas como canais profundos e alongados que podem assumir grandes dimensões (vários metros de largura e profundidade), considerando alguns autores que resultam do *aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos* pela ação progressiva da concentração do escoamento - que promove o desprendimento de material no seu leito e taludes - ou pela *consolidação de sulcos que não são eliminados pelas práticas agrícolas* (Tomás, 1992; Lafayette, Cantalice e Coutinho, 2011; Stabile, 2013).

No entanto, também podem formar-se nas cabeceiras, vertentes ou fundo de um vale, onde nenhum canal existia previamente (Leitão, 2014). Evoluindo progressivamente para montante (retrogressão), desenvolvem-se preferencialmente em vertentes extensas e com pouca vegetação, sendo mais frequentes em solos argilosos.

As ravinas normalmente subdividem-se em efémeras e permanentes, embora consoante os critérios de classificação considerados (condicionamentos impostos às

atividades agrícolas, morfológicos, padrões evolutivos, contexto topográfico) possam ser consideradas outras tipologias (fig. 2).

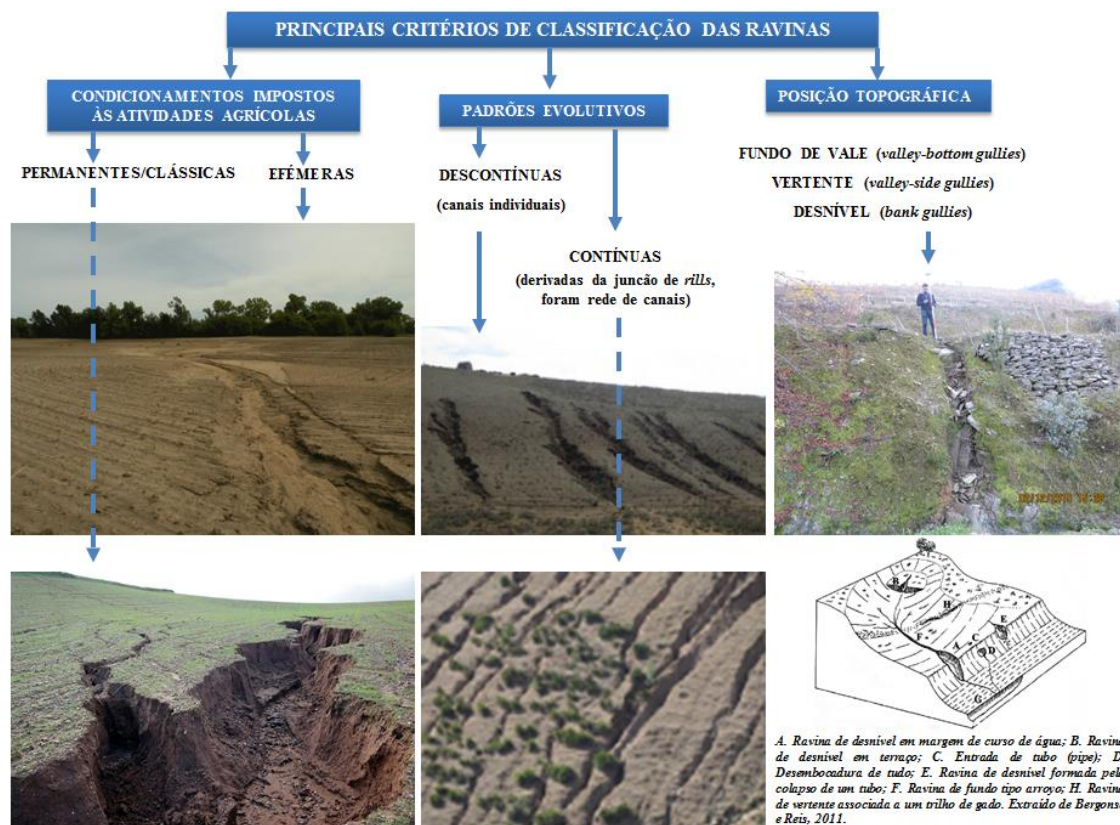


Figura 2 Tipos de ravinas

As ravinas efémeras são relativamente similares aos sulcos, constituindo uma forma transitória ainda passível de ser eliminada por práticas tradicionais, embora quando se formam novamente tendam a desenvolver-se nos mesmos locais, contrariamente aos sulcos (Casalí, Giménez e Campo-Bescós, 2015). A justificação reside no facto de habitualmente se formarem preferencialmente nas áreas de confluência de duas vertentes, em ligação com a trajetória do escoamento, pelo que por vezes parecem uma extensão dos canais de drenagem naturais (Nasri *et al.* 2008).

As ravinas permanentes correspondem a canais de erosão de maior dimensão, que já não podem ser eliminadas pelas práticas agrícolas convencionais, ocorrendo normalmente em linhas de drenagem bem definidas. São frequentes em campos abandonados e pastagens, ao contrário dos efémeros que são típicos de áreas de cultivo ativas (Gao, 2013).

No contexto do nosso trabalho, parece-nos importante considerar o critério topográfico na classificação das ravinas, à semelhança de Bergonse e Reis (2011),

destacando as ravinas de desnível em terraços (*bank gullies*). De acordo com Capra (2013, p.112), estas ravinas desenvolvem-se

... whenever concentrated runoff crosses na earth bank. Due to the very steep local slope gradient, bank gullies can rapidly develop by hydraulic erosion piping, and eventually mass movement (...) Once initiated, they retreat by headcut migration into the moderate sloping soil surface, and then further into river or agricultural terraces.

1.2 Fatores condicionantes dos processos erosivos

De acordo com Selby (1993), a erosão dos solos depende basicamente das características do meio – erosividade - e dos materiais – erodibilidade - sobre que atuam os vários tipos de processos (fig. 3). Neste contexto, podemos considerar que (...) a erosão é condicionada pela erosividade dos processos e pela erodibilidade dos materiais, englobando um conjunto de factores que operam de forma integrada, e que se encontram expressos na Equação Universal de Perdas de Solo [EUPS ou, na versão original] Universal Soil Loss Equation – USLE) (Soares, 2008, p.109).

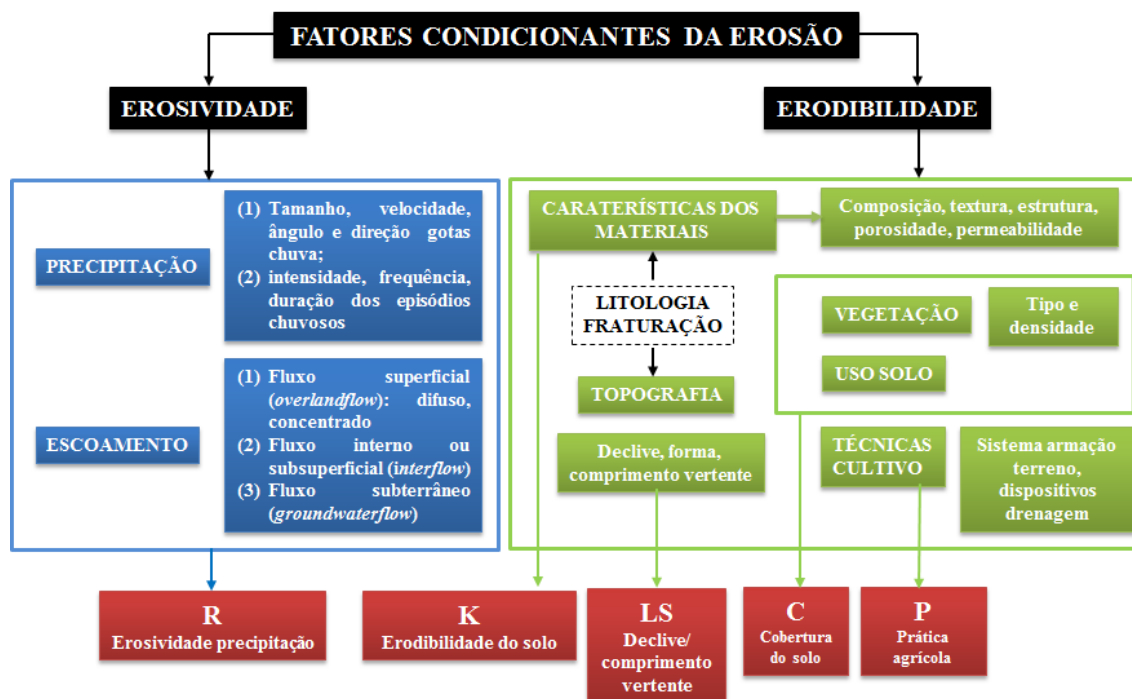


Figura 3 Fatores condicionantes da erosão dos solos. Adaptado de Soares, 2008.

No âmbito dos fatores de erosividade, a precipitação é um fator determinante, devendo ser analisada tendo em conta a sua intensidade, frequência e duração dos episódios chuvosos, embora se destaque normalmente o primeiro parâmetro⁵, até pelo fato de influenciar o tamanho e velocidade terminal das gotas de água da chuva, determinando os efeitos do *splash*.

Claro que parte desta água (...) *é interceptada pela cobertura vegetal, que retorna à atmosfera por evaporação ou chega ao solo, pelo gotejamento das folhas e pelo fluxo ao longo do tronco* (Ramos, 2008, p.17). Neste sentido, é evidente a influência exercida pelo tipo e densidade da vegetação (refletidos em parte pelo parâmetro C da *USLE*), existindo mesmo uma relação direta entre estes fatores e a percentagem de perdas de solo. Com efeito, em estudos anteriores, Silvério (2000) e Soares (2008) verificaram que as baixas taxas de erosão obtidas nas parcelas experimentais das áreas que estudaram (Monte Córdova, em Santo Tirso e Serra da Aboboreira em Baião) se deviam fundamentalmente ao papel de proteção exercido pelo coberto vegetal, salientando a eficácia da vegetação herbácea relativamente à arbustiva, aspeto já referenciado por vários autores (i.e. Lourenço, 1990; Schuster, 2001), designadamente no contexto de áreas de vinha (i.e. Lieskovský e Kenderessy, 2012), aspeto que tem vindo a ser defendido como ‘boa prática agrícola’ no contexto da viticultura da RDD, independentemente do tipo de armação de terreno (parâmetro P da *USLE*). Como refere Figueiredo (2015, p.47), as medidas que podem ser tomadas para uma boa gestão do solo (...) *incluem forçosamente a adoção de coberturas herbáceas nas entrelinhas, adventícias ou semeadas*.

Por outro lado, a vegetação favorece a capacidade de infiltração, o que, em articulação com as características dos solos (textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, representadas pelo parâmetro K da *USLE*) e o declive e comprimento das vertentes (parâmetro LS), vai condicionar o desenvolvimento do escoamento (fluxos superficial, interno e subterrâneo) e, consequentemente, a sua maior ou menor erosividade. Embora exista uma interligação entre os diferentes tipos de escoamento, o superficial vai ser responsável pela remoção e transporte das partículas do solo, considerando-se que o seu caráter difuso ou concentrado vai determinar o desenvolvimento das diferentes formas erosivas descritas no ponto anterior.

⁵. Com efeito, na *USLE* o cálculo da erosividade da chuva (R) é efectuada através do parâmetro EI, que corresponde ao (...) *product of total storm energy (E) times the maximum 30-min intensity (I₃₀)...The product term EI is a statistical interaction term that reflects how total energy and peak intensity are combined in each particular storm* (Renard et al., 1997, p.23)

A origem do escoamento superficial, é normalmente explicada por dois modelos: o de Horton (1933) que considera que este ocorre quando a quantidade/intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração, pelo que o solo satura e deixa de ser capaz de ‘absorver’ água; o de Hewlett (1961) que, expressando o conceito de ‘área de alimentação variável’, considera

... que os solos têm sempre capacidade de infiltração superior à intensidade da maior parte dos eventos de precipitação, [pelo] que a água da chuva se move lateralmente através do solo (fluxo subsuperficial ou interflow) para as secções inferiores da bacia, normalmente próximo de um curso de água ou vale. Nesse setor a água acumula-se até que essa área fica saturada, começando então a água a fluir à superfície, mas apenas na proximidade do vale. Se a precipitação se mantém a área saturada vai aumentando, o que vai igualmente promover um acréscimo do percurso do fluxo superficial (Leitão, 2014, p.10).

Note-se que em ambos os modelos estão subjacentes os fatores de erodibilidade. Por exemplo, Ramos (2008, p.16) salienta que a (...) *causa principal do aumento do escoamento com o tempo, durante uma chuvada erosiva, é a diminuição da porosidade nos primeiros milímetros de solo.* Refere ainda, no que diz respeito à camada superficial do solo, que a sua compactação, que podemos em parte associar ao preenchimento dos espaços vazios (i.e. poros, cavidades, fissuras) pelas partículas destacadas pelo *splash*, (...) *constitui uma barreira física de elevada importância, pois impede o estabelecimento e desenvolvimento do coberto vegetal.* Ou seja, no contexto dos fatores que condicionam a erosão hídrica dos solos, há uma série de mecanismos de *feedback* que ilustram a importância de os analisarmos à luz de uma perspetiva sistémica.

Assim, se a quantidade, intensidade e duração da precipitação condicionam a tipologia dos processos erosivos, podendo considerar-se a sua sucessão no tempo como referimos anteriormente, este condicionamento também reflete as características dos materiais e do meio (topografia, vegetação, uso do solo) uma vez que influenciam o desenvolvimento do escoamento e a sua maior capacidade e competência erosiva.

1.3 Modelação dos processos erosivos: tipologia dos modelos preditivos

A Equação Universal de Perda do Solo (*EUPS/USLE*), é talvez o modelo simultaneamente mais conhecido e utilizado pelos cientistas para quantificar a erosão hídrica de solos, servindo, apesar das suas grandes fragilidades, de base à definição de outros modelos do mesmo tipo⁶. Efetivamente, os modelos empíricos são aqueles que se consideram de mais fácil aplicação, baseando-se principalmente em dados obtidos a partir de ensaios laboratoriais e *in situ*. A *USLE* foi sofrendo várias adaptações tendo em conta a sua aplicação a áreas distintas, assim como reformulações que contemplam diferentes metodologias de cálculo dos seus parâmetros, como a *Modified Universal Soil Loss Equation* (*MUSLE*, Williams e Berndt, 1977) e a *Revised Universal Soil Loss Equation* (*RUSLE*, Flanagan *et al.*, 2003).

A crescente importância assumida pelos estudos associados à erosão dos solos, levou vários estudiosos a criar e a aperfeiçoar diversos modelos preditivos (...) *to provide information on erosion and water quality processes* (Merritt, Letcher and Jakeman, 2003, p.764). Na atualidade, graças ao avanço da ciência e ao aperfeiçoamento de muitos destes modelos que permitem estimar a perda de solo por via da ação hídrica, contabilizam-se cerca de 80 (...) *que incorporam processos erosivos na sua estrutura, seja como módulo independente, seja como parte intrínseca de modelos modificados* (Fernandes, 2014, p. 32).

Sobre esta temática vários estudos têm sido desenvolvidos nos últimos anos, num esforço de ‘inventariar’, classificar, descrever e analisar os vários modelos, podendo destacar-se alguns destes trabalhos.

Um dos mais importantes e esclarecedores, na nossa opinião, corresponde ao artigo já citado de Merritt, Letcher and Jakeman (2003) – intitulado “A review of erosion and sediment transport models” - que procede a uma extensa revisão dos vários tipos subdividindo-os em modelos empíricos, conceptuais e fisicamente baseados, salientando que (...) *each model type serves a purpose [and the] choice of a suitable model structure*

⁶. É o caso do modelo *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), que surge precisamente na tentativa de colmatar algumas limitações da *USLE*, sendo considerado o único que teve sucesso na sua substituição (Leitão, 2014).

relies heavily on the function that the model needs to serve (op.cit., p.769)⁷. Descrevendo as características de 17 modelos (tabela 3), os autores salientam que

...determining the appropriate model for an application requires consideration of the suitability of the model to local catchment conditions, data requirements, model complexity, the accuracy and validity of the model, model assumptions, the spatial and temporal variation, components of the model and the objectives of the model user(s) (op.cit., p.792).

No mesmo sentido, Vente e Poesen (2005) apresentam o seu “Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models”, em que acrescentam, à classificação anterior, os modelos semi-quantitativos que podem ser aplicados a diferentes escalas. Aqui destacam o Pacific Southwest Inter-Agency Committee (PSIAC), provavelmente

...the most well known semi-quantitative model (...) recommended for use in broad planning purposes and for basins of at least 25 km² [that] consists of a rating technique that characterises a drainage basin in terms of sensitivity to erosion, possibilities for sediment transport and floodplain storage, the protective role of vegetation, and the influence of human land use practices (op.cit., p.103).

⁷ . Os modelos conceituais correspondem (na maioria das vezes) a uma junção entre os modelos empíricos e os modelos de base física, permitindo responder a questões globais ou genéricas e, simultaneamente, incorporando (...) *descrições gerais dos processos à escala da bacia hidrográfica, sem especificar as suas interações, uma vez que tal implicaria uma grande quantidade de dados de entrada e informações detalhadas* (Leitão 2014, p. 19). Como refere Fernandes (2014, p.37) (...) *este tipo de modelos proporciona uma avaliação qualitativa e quantitativa dos processos erosivos, sem envolver uma grande quantidade de dados espacial e temporalmente distribuídos, normalmente determinados por calibração baseada em séries de dados disponíveis ou obtidos de forma empírica*. Os modelos de base física, que partem da compreensão dos processos alvo da modelação, implicam uma clara compreensão dos vários factores condicionantes, nomeadamente o tipo de vegetação, de solo, as características da topografia (declive, comprimento, exposição de vertentes) e também parâmetros climáticos.

Tabela 4 Modelos de Erosão/Transporte e Sedimentação, de acordo com o tipo de modelos, escala, Input/Output e referência. Extraído de Merritt, Letcher e Jakeman, 2003.

Model	Type ^a	Scale	Input/output	Reference
Water quality AGNPS	Conceptual	Small catchment	Input requirements: High Output: runoff volume; peak rate, SS, N, P, and COD concentrations	Young et al. (1987)
ANSWERS	Physical	Small catchment	Input requirements: High Output: sediment, nutrients	Beasley et al. (1980)
CREAMS	Physical	field 40–400 ha	Input requirements: High Output: erosion; deposition	Knisel (1980)
EMSS	Conceptual	Catchment	Input requirements: Low Output: runoff, sediment loads, nitrogen loads and phosphorus loads	Vertessey et al. (2001) Watson et al. (2001)
HSPF	Conceptual	Catchment	Input requirements: High Output: runoff, flow rate, sediment load, nutrient concentration	Johanson et al. (1980)
IHACRES-WQ	Empirical/ Conceptual	Catchment	Input requirements: Low Output: runoff, sediment and nutrients	Jakeman et al. (1990, 1994a,b), Dietrich et al. (1999)
IQQM	Conceptual	Catchment	Input requirements: Moderate Output: many pollutants including nutrients, sediments, dissolved oxygen, salt, algae.	DLWC (1995)
LASCAM	Conceptual	Catchment	Input requirements: High Output: runoff, sediment, salt fluxes	Viney and Sivalapan (1999)
SWRRB	Conceptual	Catchment	Input requirements: High Output: streamflow, sediment, nutrient and pesticide yields	USEPA (1994)
Erosion GUEST	Physical	Plot	Input: High Output: runoff, sediment concentration	Yu et al. (1997) Rose et al. (1997)
LISEM	Physical	Small catchment	Input: High Output: runoff, sediment yield	Takken et al. (1999) De Roo and Jetten (1999)
PERFECT SEDNET	Physical Empirical/ Conceptual	Field Catchment	Input: High Output: runoff, erosion, crop yield Input requirements: Moderate Output: suspended sediment, relative contributions from overland flow, gully and bank erosion processes	Littleboy et al. (1992b) Prosser et al. (2001c)
TOPOG	Physical	Hillslope	Input: High Output: water logging, erosion hazard, solute transport	CSIRO Land and Water, TOPOG Homepage; Gutteridge Haskins and Davey (1991)
USLE WEPP	Empirical Physical	Hillslope Hillslope/ catchment	Input: High Output: erosion Input: High Output: runoff, sediment characteristics; form of sediment loss	Wischmeier and Smith (1978) Lafflen et al. (1991)
In-stream transport MIKE-11	Physical	Catchment	Input: High Output: sediment yield, runoff	Hanley et al. (1998)

^a Model classification refers to the over-arching process representation of the model. Model components generally contain a mix of empirical, conceptual and physics-based algorithms.

Tabela 3 Síntese de modelos semi-quantitativos utilizados para avaliar a erosão do solo e a produção de sedimentos à escala da bacia. Extraído de Vente e Poesen (2005).

Model	Area range (km ²) ^a	Multiply or sum of scores	Erosion processes	Sediment transport	Distributed output	On-site/off-site	Validated
PSIAC	~0.35–16,000	sum	sheet, rill, gully, bank	yes	no	off-site	yes
FSM	~30–16,000	multiply	sheet, rill, gully, bank	yes	no	off-site	yes
VSD	~50–25,000	sum	sheet, rill, gully, bank	yes	no	off-site	no
Gavrnilovic	~0.6–7000	multiply	sheet, rill, gully, bank	yes	no	both	yes
EHU	>30,000 with 14×14-km grid	multiply	sheet, rill	no	yes	on-site	no
CORINE	Mediterranean Europe at 1-km ² grid	multiply	sheet, rill	no	yes	on-site	no
CSSM	~330	sum	sheet, rill, gully, bank	yes	semi	both	no
FKSM	?	multiply	sheet, rill	no	no	on-site	yes
WSM	~1.6–541	multiple regression	sheet, rill, gully, bank	yes	no	off-site	yes ^b

Key: PSIAC: Pacific Southwest Inter-Agency Committee; FSM: Factorial Scoring Model; VSD: Vegetation–Surface material–drainage density model; EHU: Erosion Hazard Unit; CORINE: Coordination of information on the environment; CSSM: Coleman and Scatena Scoring Model; FKSM: Fleming and Kadhim Scoring Model; WSM: Wallingford Scoring Model.

^a Reference is made to the surface area of the drainage basins where the models were applied to as reported in literature.

^b The model was not yet validated for an independent data set, only for data used in the derivation of the equation.

Referem ainda mais oito modelos de caráter semi-quantitativo, sempre indicando a escala de análise a que se adequam e o tipo de processos contemplados (Tabela 4), assim como (...) *summarises which factors are used and on what type of information they are generally based* (op.cit., p.116) (Tabela 5). Da mesma forma que os autores anteriormente referidos, Vente e Poesen (op.cit. p.121) salientam que (...) *the most appropriate model for a specific study depends on the problem under consideration*⁸.

Tabela 5 Síntese de algumas das principais características consideradas em modelos semi-quantitativos. Extraído de Vente e Poesen (2005).

Model	Soil	Climate	Topography	Vegetation	Signs of erosion	Morphology	Conservation
	Rill–interrill erosion processes				Erosion/transport	Transport	Erosion/transport
PSIAC	lithology, texture, stoniness	rainfall amount and intensity	slope, floodplain development	% cover; % cultivation	rill, gully, bank erosion, landslides	floodplain development	–
FSM	lithology	–	slope	% cover	rill, gully, bank erosion	basin shape, basin area, distance to watercourse	–
VSD	lithology	–	–	% cover	drainage density	drainage density	–
Gavrilovic	lithology	average annual precipitation and temperature	slope	land use type	rill, gully, bank, landslides, karst	basin perimeter, relative drainage length principal waterway	–
EHU	lithology	kinetic energy (total rain)	average slope	% cover	–	–	–
CORINE	soil texture, depth, stoniness	Fournier index, Bagnouls–Gaussen aridity index	average slope	% cover	–	–	–
CSSM	USLE <i>K</i> factor	–	slope	% cover; % cultivation	bank/channel erosion, channel aggradation	distance to water course, floodplain development	disturbance period and presence of conservation measures
FKSM	soil texture	Fournier index	slope	vegetation type	–	–	disturbance period and type
WSM	soil texture and drainage	average annual rainfall	main river slope	% cover; % cultivation	gullies connected to river, bank erosion	basin area	–

Some characteristics aim at assessment of erosion, others at transport. Key: PSIAC: Pacific Southwest Inter-Agency Committee; FSM: Factorial Scoring Model; VSD: Vegetation–Surface material–Drainage density model; EHU: Erosion Hazard Unit; CORINE: Coordination of information on the environment; CSSM: Coleman and Scatena Scoring Model; FKSM: Fleming and Kadhim Scoring Model; WSM: Wallingford Scoring Model.

⁸ . *Where on-site erosion estimates are required for relatively small areas, empirical models and some physics-based or conceptual models answer most questions reasonably. For larger areas data requirements will hamper application of these models and so the semi-quantitative models EHU, CORINE, or FKSM are more appropriate. When sediment yield and off-site effects are to be assessed at the basin scale, semi-quantitative models like PSIAC, FSM, VSD, Gavrilovic, CSSM or WSM may be the best available tools* (p.121).

Também Aksoy e Kavvas (2005) apresentam *A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models*, repetindo alguns dos modelos focados anteriormente, embora acrescentem outros (i.e. Sedd, Eurosem, Kineros, Runoff, Wesp...), salientando a importância dos SIG, (...) *in particular for physically based modellers in providing the spatially distributed data* (op.cit., p.265)

Outros estudos de síntese e análise de modelos poderiam ser referidos (i.e. Jetten, Roo, Favis-Mortlock, 1999; Grimm, Jones and Montanarella, 2002; Summer and Walling, 2002; Lilly *et al.*, 2009; Jun Hu and Flanagan, 2013; Karydas, Panagos and Gitas, 2014), mas não se pretende repetir neste trabalho o muito que já tem sido escrito sobre o tema em causa.

Assim, destacamos a dissertação de mestrado de Fernandes (2014), em que a autora foca precisamente a dificuldade em abarcar a enorme quantidade de modelos existentes, que ilustra através de um esquema em que apresenta a sua subdivisão tendo em conta os critérios de classificação, os processos simulados e as variáveis utilizadas (fig. 4).

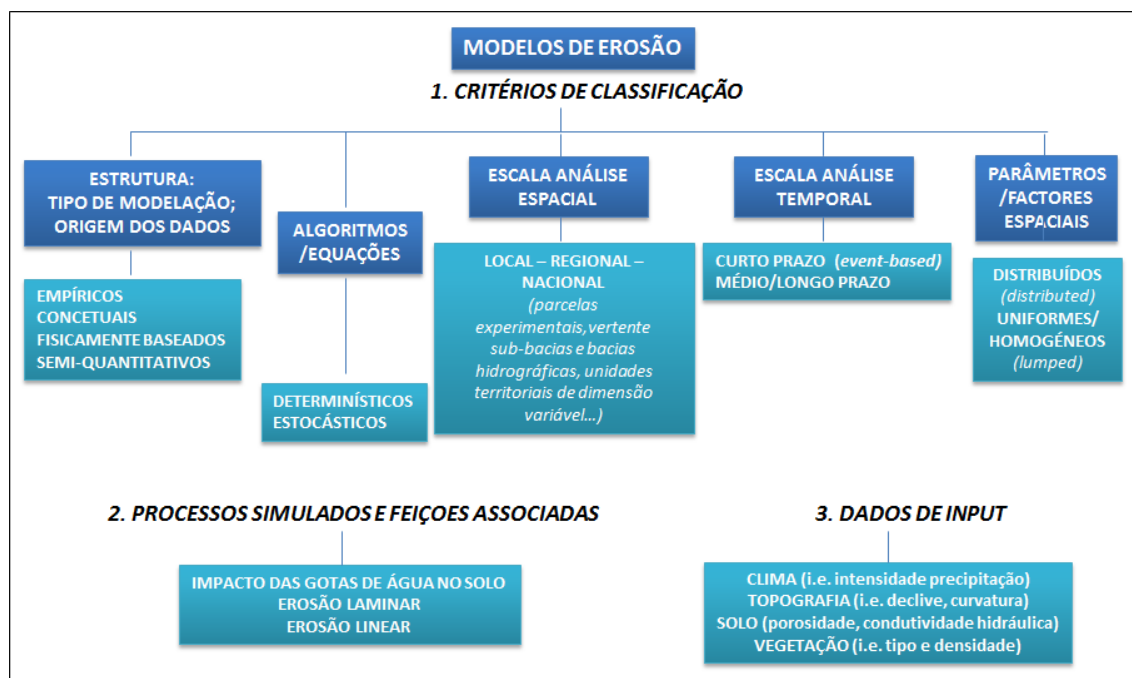


Figura 4 Critérios de classificação dos modelos, processos de erosão simulados e dados de input. Extraído de Fernandes, 2014.

Partindo deste esquema e com base no critério estrutural, procede a uma descrição de cerca de 50 modelos subdivididos em empíricos, conceituais, fisicamente baseados e semi-quantitativos, resumindo em vários quadros as respetivas escalas de análise espacial e temporal, o tipo de feições que permitem modelar, os parâmetros incorporados e referências bibliográficas.

Também Leitão (2014) procede a uma revisão similar, partindo do esquema sugerido por Vente e Poesen (2005) (fig. 5), apresentando as características de 15 modelos que refere como ‘alguns dos mais frequentemente citados e utilizados’.

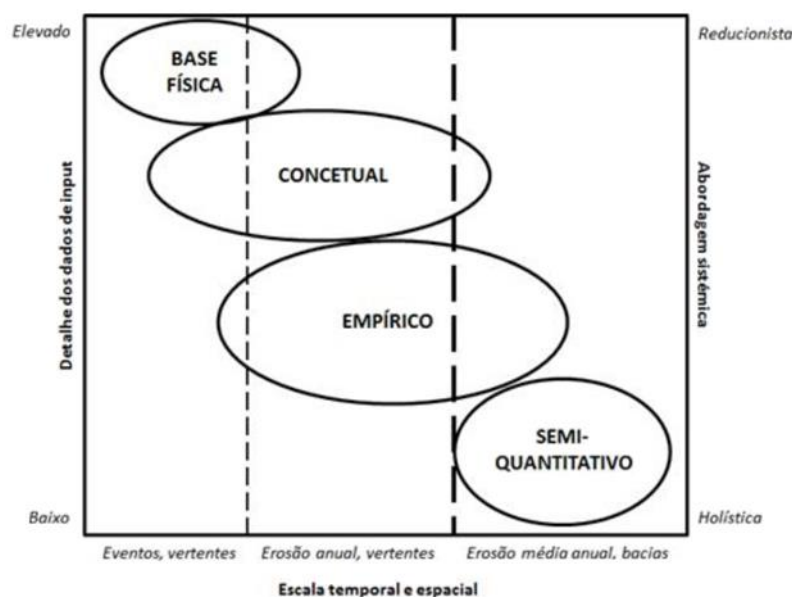


Figura 5 Comparação dos diferentes tipos de modelos, tendo em conta a escala de análise, as características dos dados de input e o tipo de abordagem. Extraído de Leitão, 2014.

1.4 Erosão hídrica de solos em terraços agrícolas: estudos desenvolvidos em Portugal na área da RDD

Considerando o tema em estudo mas principalmente o contexto espacial em que se desenvolve - os terraços agrícolas da RDD - pode referir-se que é relativamente limitado o número de publicações existente. E esse número restringe-se ainda mais, se pretendermos analisar as referências bibliográficas em que se procede à modelação dos processos erosivos.

No entanto, o tema da erosão hídrica de solos em Portugal assumiu algum relevo na década de 1960 quando o engenheiro agrónomo Ernesto Baptista D'Araújo criou três centros experimentais de erosão, salientando-se como mais importante o de Vale Formoso

(Mértola), mas destacamos, pela sua localização, o da Quinta de Santa Bárbara (Pinhão). Estes centros tinham por objetivo quantificar as perdas de solo agrícola associadas à erosão, assim como desenvolver procedimentos para a sua conservação, recorrendo a uma metodologia inspirada nos trabalhos desenvolvidos por Walter Wischmeier nos EUA, com a instalação de parcelas experimentais.

Já em 1962, haviam sido instaladas duas parcelas de vinha [na Quinta de Santa Bárbara], uma com os bardos orientados segundo as linhas de maior declive (vinha ao alto) e outro segundo patamares horizontais, tendo a primeira, na sua parte inferior, receptores para as águas de escoamento superficial e de partículas de terra e pedra por ela removidas, para estudos de erosão. Também as mesmas tinham como objectivo estudar a viabilidade de mecanização das operações culturais na vinha. Apesar de os resultados obtidos através deste estudo terem sido pouco desenvolvidos e pouco conclusivos – salvo a componente da erosão que revelou ser, na vinha ao alto, praticamente nula –, a sua implantação não deixa de ser pioneira, relativamente às soluções de sistematização do terreno de encosta e de mecanização (Magalhães, 2011, p.59).

De acordo com Figueiredo *et al.* (2013), os estudos associados à quantificação do escoamento e erosão dos solos começaram a ser desenvolvidos nesta quinta principalmente a partir de 1978, em cinco parcelas experimentais (com 32,1m de comprimento e 5,2m de largura com declive de 45%) plantadas com vinha ao alto. Após 10 anos de registos, os resultados principais demonstraram valores de erosão bastante baixos quando comparados com outras áreas do Mediterrâneo (inferior a 0,5 t ha⁻¹), salientando os autores que

(...) the very high rock fragment contents and cover of the soil is the single mitigating factor that helps explaining the observed low erosion rates, [referindo ainda que] plantation scheme, affecting plant density and vegetation cover, significantly contributed to explain differences in observed soil loss between plots (Figueiredo et al., op.cit., p.339).

Já em 1981 o Engº Agrónomo Carlos Alberto Rosa tinha apresentado os resultados preliminares dos estudos de erosão desenvolvidos na Quinta de Santa Bárbara (nas Jornadas Vinorde/81 que tiveram lugar em Vila Real), apresentando conclusões similares. Com efeito, salienta os baixos valores de erosão, contrariando o que se poderia esperar face aos declives, considerando que podem ser explicados porque (...) *a existência no solo de material grosseiro exerce ao impacto das gotas de chuva um efeito protector* (op.cit., p.35). Refere, ainda, que a intensidade da precipitação desempenha um papel

importante sobre o processo erosivo, embora tal mereça um estudo mais exaustivo pois a sua influência não pode ser avaliada pelo seu valor absoluto, uma vez que as maiores perdas de solo não se registaram nos episódios chuvosos de máxima intensidade. Segundo o autor, as perdas são particularmente importantes durante o período Primavera-Verão, facto que ele associa (...) *ao papel das lavouras executadas nesta época e em que o solo se encontra portanto completamente desprotegido* (op.cit., p.35).

Assim, nestes estudos acentuam-se dois fatores como particularmente importantes na erosão de solos na área do Douro: a pedregosidade, que parece proteger o solo do efeito de *splash*, associado ao sistema de armação de terreno (*plantation scheme*) que vai influenciar a densidade e tipo de coberto vegetal.

Em 2001 Figueiredo tinha chegado a conclusões similares, na sua tese de doutoramento dedicada ao estudo da Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro. Neste trabalho, Figueiredo refere que se os fragmentos rochosos afetam a transferência de sedimentos ao longo das vertentes (pelo papel que desempenham na rugosidade do terreno e no controle do padrão do escoamento superficial), também é importante ter em conta o efeito do comprimento das encostas, interagindo ambos os fatores sobre a erosão do solo. Segundo o autor, o efeito do ‘comprimento’ - que consideraria corresponder ‘ao comprimento do escoamento’ no seu trabalho de 2015 - associa-se ao do coberto do solo, controlando este o destacamento de partículas finas devido ao impacto das gotas de chuva.

Explorando a questão da pedregosidade, Figueiredo et al. (2004, 2009) desenvolveram um estudo experimental (fig. 6), utilizando tabuleiros de 27.1 cm de comprimento, 22.6 cm de largura e 5,5 cm de profundidade (...) *preenchidos com uma camada de 2 cm de areia grossa sobre a qual se colocou uma espessura de 3.5 cm de terra fina* (...) sendo constituída por 5,2% de argila 40,9% de limo, 49,8% de areia fina e 4,1 % de areia grossa, com um teor de matéria orgânica de 0,5% (Figueiredo et al., 2004, p.234). Estes tabuleiros apresentavam diferentes percentagens de cobertura do solo e elementos grosseiros simulados de dimensão, forma e posições variadas. Dos ensaios efetuados destacou-se sobretudo o fator distância entre os fragmentos rochosos para explicar os quantitativos de erosão, para além, obviamente, do grau de cobertura do solo:

(...) a distância entre elementos grosseiros explicou, por si só, a perda de solo por escoamento difuso registada na maior parte dos Tratamentos testados no ensaio experimental. Mostrou-se, portanto, que este parâmetro é um bom descritor da pedregosidade superficial dos solos no que às perdas de solo no escoamento interessa (op.cit.p.242).



Figura 6 Experiência sobre o efeito da pedregosidade na erosão do solo. Extraído de Figueiredo et al., 2009.

No âmbito dos trabalhos de Figueiredo, sem dúvida um dos mais importantes investigadores no âmbito do tema e área em estudo, gostaríamos ainda de destacar uma das suas últimas publicações, intitulada Proteção do Solo em Viticultura de Montanha. Manual Técnico para a Região do Douro (2015). Com um capítulo dedicado às ‘Ameaças ao recurso solo, fatores de risco’, apresenta uma síntese dos fatores mais importantes da erosão do solo no Douro, ilustrado com os dados experimentais da Quinta de Santa Bárbara e utilizando, de forma adaptada, os parâmetros da Equação Universal de Perda de Solos.

Também na Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) se podem destacar alguns estudos relacionados com a erosão hídrica de solos, designadamente no âmbito dos projetos: Processos Erosivos no Norte de Portugal: Definição de Áreas de Risco (1997/2001), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e coordenado por A. Pedrosa; TERRISC - Recuperação de paisagens de terraços e prevenção de riscos naturais, projeto integrado no INTERREG B - Sudoeste Europeu, financiado pela Comissão Europeia e coordenado, pela parte da Universidade do Porto, por C. Bateira (concluído em 2006); e o projeto MODRIS - Suscetibilidade a processos hidrogeomorfológicos no Norte de Portugal: modelação matemática de base física e de base estatística, desenvolvido com base num protocolo assinado entre a Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID) e o Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), também sob coordenação C. Bateira e concluído em 2015.

Os dois últimos projetos foram centrados na região do Douro, dando origem a uma série de estudos associados ao tema da nossa dissertação. No caso do TERRISC o projeto foi aplicado em duas áreas amostra do Vale do Douro, Baião e Régua, em que foram analisadas duas bacias hidrográficas e parcelas de erosão em terraços agrícolas com muros de pedra em seco, em substrato litológico diferenciado (granito e xisto). Embora o objetivo deste projeto se centrasse na análise do funcionamento hidrodinâmico de vertentes organizadas em patamares agrícolas, não tendo sido orientado para a quantificação da erosão mas antes para os processos de instabilidade associados a movimentos de vertente, permite-nos perceber aspetos relacionados com a infiltração, condutividade hidráulica, circulação e armazenamento de água e resistência do solo, aspetos que vão obviamente ter ligação e condicionar o desenvolvimento do escoamento superficial e, consequentemente, a erosão. Neste contexto podemos destacar os trabalhos de Bateira *et al.* (2005, 2007a, 2007b) ou Soares *et al.* (2010), genericamente centrados na hidrologia de solos organizados em terraços agrícolas, definindo a relação entre episódios chuvosos e o escoamento, entre estes e o tipo de solos derivados de litologia diferenciada e a influência exercida sobre a instabilidade geomorfológica.

No caso do projeto MODRIS destacam-se já estudos especificamente orientados para a erosão dos solos na RDD. Também neste contexto foram publicados vários artigos e dissertações de mestrado, destacando-se, destas últimas, a de J. Fernandes (2014) e A. Leitão (2014), ambas centradas no estudo da erosão hídrica de solos recorrendo a modelação, nas quintas de S. Luiz e na Quinta das Carvalhas. Para o nosso trabalho é particularmente o trabalho de J. Fernandes, já que trata da Modelação de Processos Erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta de S. Luiz. Utilizando vários tipos de modelos (*RUSLE*, Regressão Logística e *SIMWE*), Fernandes (op.cit., p.2) define como seu objetivo principal a (...) *predição dos sectores mais suscetíveis à erosão hídrica na Quinta de S. Luiz (Adorigo, Tabuaço)*. Das suas conclusões mais importantes, ressalta, no caso da aplicação da *RUSLE*, a importância do fator LS (comprimento/declive das vertentes) - principalmente quando calculado através do algoritmo de Desmet & Govers (1996), que se demonstrou o mais fiável - salientando ainda que os fatores C (cobertura do solos) e P (prática agrícola) exercem um grande impacto sobre a suscetibilidade à perda de solo anual, tal como demonstram os coeficientes destes parâmetros determinados com base na regressão logística. Quanto ao modelo *SIMWE*, desenvolvido para ser aplicado preferencialmente a ravinas, Fernandes (op.cit., p.114)

refere que as áreas mais suscetíveis a este tipo de erosão são aquelas em que (...) *os valores de fluxo superficial exercem mais influência, em muito motivados pelos valores de concentração de sedimentos serem menores que a capacidade de transporte resultando em áreas onde a desagregação de partículas é mais avultada.*

Em publicação posterior, Fernandes et al. (2015, p.201) exploram a aplicação deste modelo no contexto de uma pequena bacia hidrográfica na Quinta de S. Luiz, salientando

(...) a boa prestação do modelo SIMWE à identificação das áreas mais susceptíveis à erosão hídrica de solos, designadamente à formação de ravinas [uma vez que] as áreas que se revelam mais críticas demonstram a ligação entre as feições erosivas inventariadas com os valores máximos dos fluxos de água e sedimentos, traduzindo-se por uma elevada capacidade de transporte principalmente nos sectores de convergência dos fluxos. Tal significa que os registos de erosão se relacionam sobretudo com processos lineares de escoamento concentrado, pelo que se justifica o maior número de ravinas nestas áreas.

No mesmo quadro espacial, não podemos deixar de fazer referência ao trabalho de A. Pedrosa, M. Martins e F. Pedrosa (2004), intitulado Processos de Erosão Acelerada na Região Demarcada do Douro: um património em risco, assim como a dissertação de M. Martins (2005), que visava compreender influência dos principais tipos de armação de terreno sobre os processos de erosão hídrica dos solos. Nesta dissertação, Martins considera, com base em experiências de campo, que as vinhas em patamares apresentam valores de erosão hídrica 51,9 vezes superiores à das vinhas tradicionais, considerando que tal se deve às escassas cobertura vegetal e pedregosa, pelo que estes terraços com taludes de terra são mais vulneráveis ao impacto da precipitação.

Também Catalão e Pacheco (2010) escolhem uma área da RDD para avaliar a erosão hídrica de solos, aplicando neste caso a *USLE* na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Meia Léguas, uma das áreas amostra que tinha sido utilizada no projeto TERRISC. Da aplicação do modelo - cujos parâmetros foram definidos a partir das diretrizes de Pimenta (1998), Brandão *et al.* (2001) e Moore e Burch (1986) – os autores (op.cit., p.4) salientam que (...) *em cerca de metade da área da bacia (43,8%) as perdas por erosão hídrica (...) podem ser consideradas muito baixas já que são inferiores ou quando muito da mesma ordem de grandeza das perdas toleráveis associadas aos solos mais sensíveis (litossolos).*

Apesar dos estudos referidos, não há dúvida que a cartografia de suscetibilidade a processos de erosão hídrica ainda não se encontra muito desenvolvida em Portugal e, particularmente, na RDD. Também é clara a utilização da *USLE* nos trabalhos

desenvolvidos, talvez devido, como refere Leitão (2014, p.83), à sua eficácia (...) *em termos de obtenção e manipulação dos dados, mas também [pela] escassez de informação que muitas vezes impossibilita a aplicação de métodos alternativos e conceptualmente mais avançados, como por exemplo os modelos de base física*. Por exemplo, neste contexto poderíamos referir os trabalhos de: Ferreira (2008), que na sua tese de doutoramento aplica a *USLE* no concelho de Gondomar; Petan *et al.* (2010) que utiliza este modelo na bacia hidrográfica do rio Leça; Meneses (2011), cuja dissertação de mestrado se centra no cálculo da erosão hídrica de solos no contexto espacial do concelho de Tarouca; ou Simões (2013), que aplica este modelo comparando os seus resultados com o PESERA em duas bacias hidrográficas localizadas no rio Ocreza e no rio Ponsul.

No caso da RDD, em função dos trabalhos já focados, consideramos que muito ainda há a fazer e a discutir sobre a modelação dos processos erosivos. Não temos dúvidas que, neste contexto, a inventariação exaustiva de sulcos e ravinas é um passo essencial, contemplando a sua caracterização o mais completa possível, associada a uma posterior análise estatística que contemple o cruzamento com as variáveis que condicionam, em termos teóricos, a erosão dos solos.

Capítulo II – Caracterização da área em estudo

2.1 A Região Demarcada do Douro e o Alto Douro Vinhateiro: enquadramento espacial e breves notas históricas

Criada num período conturbado mas de renovação da sociedade portuguesa, em que se assiste a um vasto conjunto de reformas administrativas, económicas e sociais fomentadas pelo então secretário de Estado do Reino Sebastião José de Carvalho e Melo (sob inspiração das novas ideias iluministas que dominavam a Europa), a Região Demarcada do Douro (RDD) é a mais antiga região vitícola demarcada e regulamentada do mundo (Pereira, G., 1998; Assunção, 2006; Sousa, 2007). A sua origem, associada à criação da Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto (ou Real Companhia Velha) decretada por alvará régio datado de 10 de setembro de 1756, surge na sequência de problemas relacionados com a perda de qualidade do já então famoso Vinho do Porto⁹, designação que data do século XVII.

Alvo de várias delimitações ao longo do tempo (remontando a primeira ao período compreendido entre Setembro de 1757 e Janeiro de 1758 e abrangendo cerca de 40.000ha), a RDD assume os seus atuais limites em 1921 (Decreto nº 7934 de 10 de Dezembro)¹⁰, totalizando cerca de 250.000ha distribuídos por 19 municípios que se inserem nas três sub-regiões em que tradicionalmente se divide esta região vinhateira: Baixo Corgo, Cima Corgo e Douro Superior (fig.7A e B). Assim, esta região estende-se, no sentido W-E, desde Barqueiros (no concelho de Mesão Frio) até Barca de Alva, enquanto a norte e a sul o seu limite é definido por cotas entre os 500-650m de altitude,

⁹. *Fifty years after the Treaty of Methuen, the Douro was hit by a serious crisis of overabundant production. The fact that during the first half of the 18th century supply had exceeded demand tempted producers to produce more, and to commit the "sin" of mixing good wines with wines of inferior quality. The generous wines of the Douro then lost their excellent quality and the prestige acquired with British consumers, because of these many repeated manipulations (...) The crisis was solved through the institution of the Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro, in an attempt to restore to Port wine the excellence of its earlier years* (Cardoso, 2011, p.137-8).

¹⁰. De acordo com Pereira (1996), seria também criada nesta altura a Comissão de Viticultura da Região do Douro, que tinha como funções fiscalizar, elaborar registos de propriedade e atribuir certificados de procedência. Já durante o Estado Novo, em Novembro de 1932, é formada a Federação Sindical dos Viticultores da Região do Douro (a Casa do Douro), na sequência de mais uma crise vinícola que afetou a região.

o fator com maior peso na classificação das parcelas de vinha para a atribuição da autorização de benefício (Ribeiro, 2000; Abade e Guerra, 2008; Magalhães, 2012)¹¹.

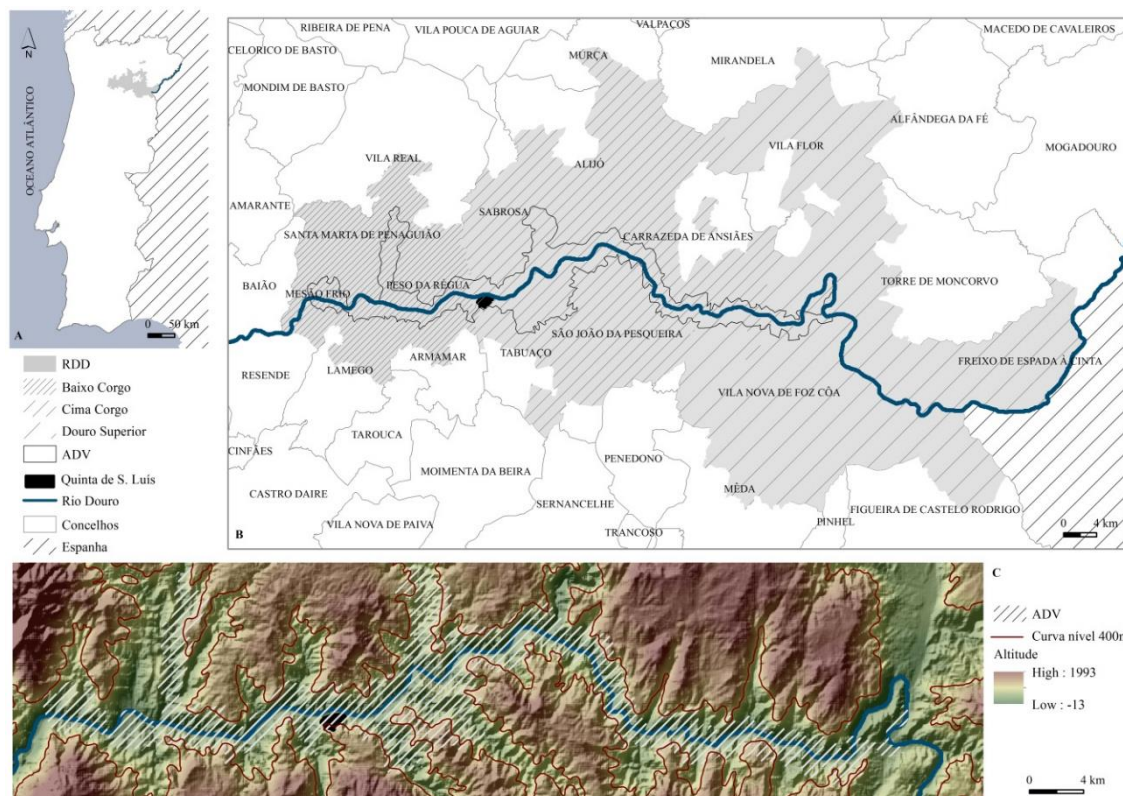


Figura 7 Enquadramento espacial. A. A RDD no contexto do território nacional. B. Sub-regiões da RDD, limite do ADV e localização da Quinta de S. Luiz. C. Quadro espacial do ADV.

A área total de vinha nestas sub-regiões - cuja delimitação, segundo Magalhães (2008), resulta de diferenças mesoclimáticas resultantes do maior ou menor afastamento do mar e da variação de altitudes - abrange cerca de 43.700ha, ascendendo a 23.468 o número de exploradores identificados, valores que assumem maior destaque no Cima Corgo, detendo cerca de 47% das parcelas, em contraponto com o Baixo Corgo - 39%- e o Douro Superior – 14% (tabela 6).

¹¹. Esta classificação é elaborada com base num sistema de pontuação inicialmente desenvolvido por Moreira da Fonseca na altura da fundação da Casa do Douro, para atribuir o chamado ‘benefício’ (autorização atribuída anualmente para produção de Vinho do Porto). O método que actualmente vigora foi publicado na Portaria nº 413 de 18 de abril de 2001 (embora existam já propostas para a sua revisão), considerando, para (...) além das características intrínsecas da planta (casta, idade da vinha, armação, compasso, produtividade, etc), (...) características do suporte biogeofísico onde se localiza cada uma das propriedades (altitude, natureza do solo, declive, exposição solar, condições de abrigo, temperatura, precipitação, humidade relativa, etc) (Almeida, 2004, p.10). Para mais informações sobre este assunto, consultar Abade e Guerra (2008).

Nos últimos 5-6 anos salientam-se como elementos mais significativos a diminuição progressiva do número explorações (-42,5%), parcelas (-20,7%) e proprietários (-39,4%), com destaque para o Douro Superior, com implicações óbvias e positivas na área de vinha e nº de parcelas por explorador. De qualquer modo, em termos de produtividade as variações são pouco significativas, pesem as diferenças entre as 3 sub-regiões fruto da desigual área de vinha (figs.8 e 9), evidenciando uma tendência irregular mas que, pela sua similaridade, deverão estar mais relacionadas com a variabilidade climática anual do que com as modificações anteriormente referidas.

Tabela 6 Parâmetros relacionados com as características da exploração de vinha na RDD.

Sub-região/Ano	Área de vinha (ha)						Variação 2010-2015	Nº Explorações						Variação 2010-2015
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*		2010	2011	2012	2013	2014	2015*	
Baixo Corgo	14.378	14.186	14.082	13.730	13.558	13.446	-6,5	15.407	13.850	13.620	10.528	9.696	9.188	-40,4
Cima Corgo	20.918	20.816	20.905	20.505	20.402	20.324	-2,8	16.151	14.449	14.157	10.869	9.932	9.455	-41,5
Douro Superior	10.257	10.213	10.215	9.769	9.859	9.895	-3,5	7.124	6.515	6.362	4.271	3.836	3.596	-49,5
Total RDD	45.553	45.215	45.202	44.004	43.819	43.665	-4,1	38.682	34.814	34.139	25.668	23.464	22.239	-42,5

Sub-região/Ano	Nº Parcelas						Variação 2010-2015	Nº Exploradores						Variação 2010-2014
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*		2010	2011	2012	2013	2014	2015*	
Baixo Corgo	57.041	55.021	54.525	49.547	47.803	46.456	-18,6	15.409	13.599	13.622	10.529	9.697	—	-37,1
Cima Corgo	69.305	66.557	65.722	59.531	57.466	55.384	-20,1	16.159	14.139	14.159	10.871	9.934	—	-38,5
Douro Superior	23.158	22.356	22.027	18.197	17.370	16.705	-27,9	7.127	6.374	6.365	4.273	3.837	—	-46,2
Total RDD	149.504	143.934	142.274	127.275	122.639	118.545	-20,7	38.695	34.112	34.146	25.673	23.468	—	-39,4

Sub-região/Ano	Área vinha / explorador (ha)						Variação 2010-2014	Nº parcelas / explorador						Variação 2010-2014
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*		2010	2011	2012	2013	2014	2015*	
Baixo Corgo	0,9	1,0	1,0	1,3	1,4	—	49,9	3,7	4,0	4,0	4,7	4,9	—	33,2
Cima Corgo	1,3	1,5	1,5	1,9	2,1	—	58,6	4,3	4,7	4,6	5,5	5,8	—	35,0
Douro Superior	1,4	1,6	1,6	2,3	2,6	—	78,5	3,3	3,5	3,5	4,3	4,5	—	39,4
Média RDD	1,2	1,4	1,4	1,8	2,0	—	64,2	3,7	4,0	4,0	4,8	5,1	—	35,7

* Dados provisórios

Fonte: IVDP

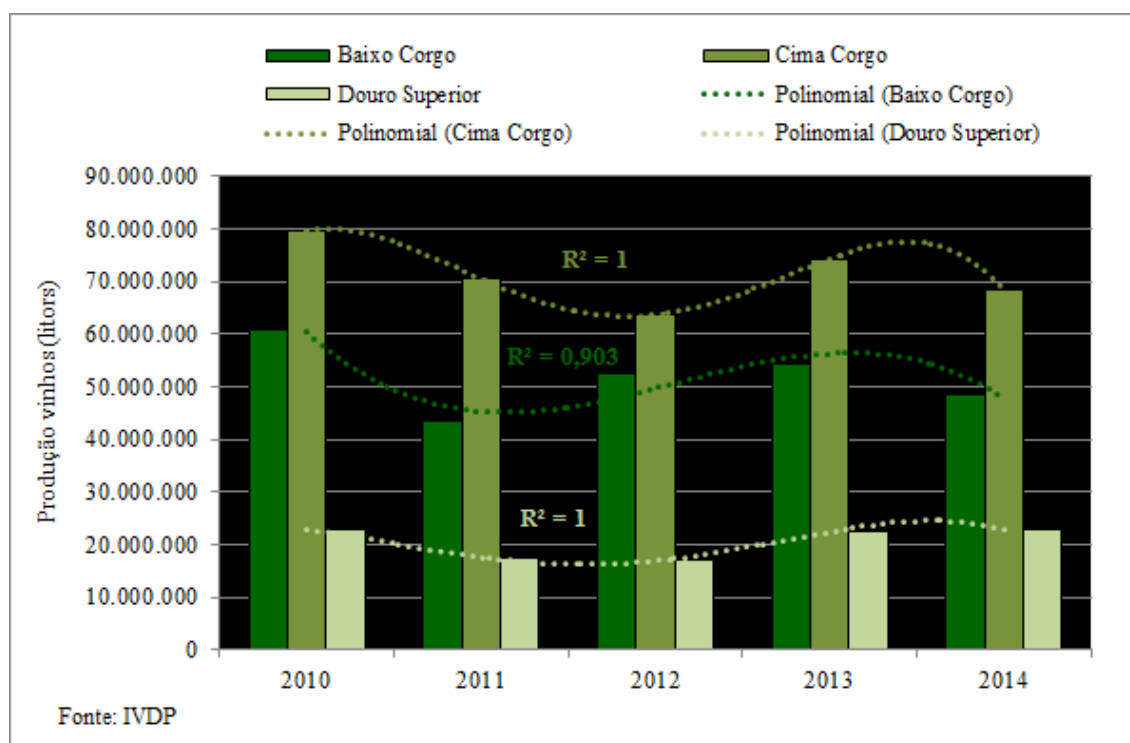


Figura 8 Produção anual de vinho, entre 2010 e 2014, nas três sub-regiões da RDD.

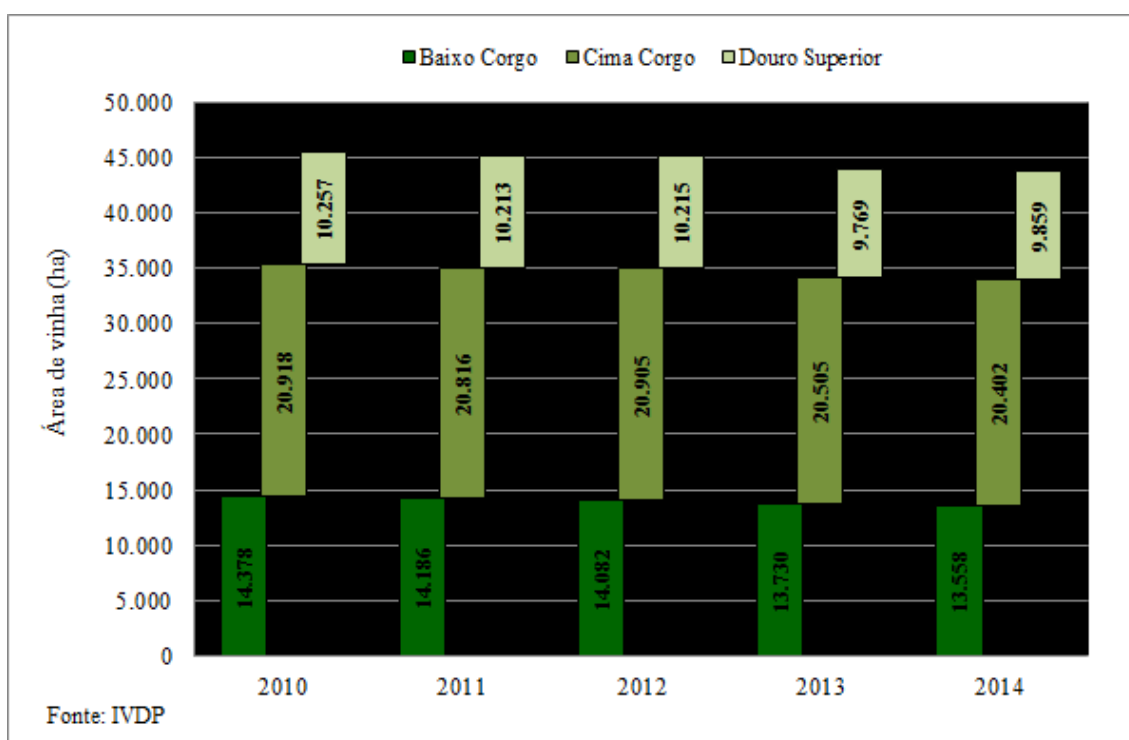


Figura 9 Área afeta ao cultivo de vinha entre 2010 e 2014, nas três sub-regiões da RDD.

Integrando o pólo do Douro no âmbito do Plano Estratégico Nacional de Turismo (PENT), que congrega, como produtos prioritários o Turismo Cultural e Religioso e a Gastronomia e Vinhos, a RDD é há muito reconhecida como um ‘recurso’ turístico fundamental da região norte do país, destacando-se, no seu quadro espacial, o designado Alto Douro Vinhateiro (ADV).

Considerada como uma área de paisagem ‘cultural, evolutiva e viva’, o ADV (cf. fig.1C) foi classificado pela UNESCO em Dezembro de 2001 como Património Mundial, congregando, no contexto da RDD (...) *a área de mais elevada qualidade paisagística, ou seja a área de maior excelência e representatividade de toda a região e que apresenta um bom estado de conservação* (Andresen (s/d, p.1). Como refere Aguiar (2002, p.145),

(...) é uma obra combinada do Homem e da natureza, resultante de um processo multissecular de adaptação de técnicas e saberes específicos de cultivo da vinha em solos de especiais potencialidades para a produção de vinhos de qualidade e tipicidade mundialmente reconhecidos. É uma paisagem cultural evolutiva viva, testemunho de uma tradição cultural antiga, e, simultaneamente, de uma civilização viva, centrada na vitivinicultura de qualidade, desenvolvida em condições ambientais difíceis.

Os aspetos focados integram o documento em que o *World Heritage Committee* justifica a nomeação do ADV como património mundial¹², definindo, entre outros aspetos, os critérios em que se baseia a classificação e a metodologia utilizada na sua delimitação territorial (fig.7C¹³ e tabela 7).

¹². *Nomination of Alto Douro Wine Region for the World Heritage List*. Disponível em <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1046.pdf>. Acedido em 22/01/2015.

¹³. Note-se que a área da ADV se enquadra genericamente a cotas inferiores a 400m. Considerando o Método de Pontuações em vigor, salienta-se que o valor máximo (240 pontos) é atribuído a vinhas situadas até 150m de altitude (na 4ª e 5ª secções), enquanto o mínimo (-900 pontos) se destina às que ultrapassam os 650m (na 1ª secção).

Tabela 7 Critérios e metodologias que presidiram à definição do ADV. Adaptado e Traduzido WHC Nomination Documentation, 2001.

Critérios	<p>iii) <i>O Alto Douro produz vinho há cerca de dois mil anos e sua paisagem foi moldada pelas atividades humanas. O Alto Douro, exibe um importante intercâmbio de valores humanos ao longo de um período de tempo e no contexto de uma área cultural específica. A área nomeada para inscrição como representando uma paisagem cultural contínua, 'viva' e evolutiva é verdadeiramente representativa da Região Demarcada do Douro e ilustra as características naturais e culturais essenciais. Reflete técnicas específicas de uso sustentável da terra - tanto os do passado como do presente - em associação com um conjunto significativo de habitats naturais típicos de um ambiente mediterrânico.</i></p>
	<p>iv) <i>As componentes da paisagem Alto Douro são representativas da uma gama completa de atividades associadas à produção de vinho - terraços, Quintas (complexos agrícolas produtores de vinho), aldeias, capelas e estradas. O Alto Douro é um excelente exemplo de uma paisagem tecnológica que ilustra várias etapas significativas da história humana. É um excelente exemplo de uma relação única entre o Homem e os elementos naturais. Aqui, apesar da hostilidade da natureza, o Homem adaptou culturas Mediterrâneas, principalmente videiras e oliveiras e amendoeiras, plantando-as em terraços que ele próprio construiu em encostas rochosas de forte declive. As alterações dos vários métodos utilizados ao longo dos séculos são evidentes na paisagem.</i></p>
	<p>v) <i>A paisagem cultural do Alto Douro é um excelente exemplo de uma região tradicional europeia produtora de vinho, refletindo a evolução desta atividade humana longo do tempo. O Alto Douro é um excelente exemplo do uso tradicional do solo que se tornou vulnerável sob o impacto de uma mudança irreversível. A paisagem do Alto Douro e o seu ambiente são notavelmente Mediterrâneos. Apesar da sua natureza geomorfológica e o seu clima não convidarem ao povoamento humano, a vinha - assim como a oliveira, a amêndoa e outros frutos e cereais - sustentaram uma atividade económica dinâmica, apesar da vulnerabilidade face aos caprichos da natureza, flutuações nos mercados, variações nos gostos e, mais recentemente, a falta de mão de obra que levou à mecanização parcial das vinhas.</i></p>
	<p>Metodologia de delimitação: etapas</p> <p>Estudo de Avaliação da paisagem, trabalho de campo e pesquisa bibliográfica</p> <p>1. Identificação e descrição dos elementos naturais - os vales estreitos; as vertentes íngremes; os antrossolos; a escassez de água; as chuvas escassas; a diversidade de habitats naturais; a transição: do Atlântico para o Mediterrâneo; as culturas mediterrânicas: uvas, azeitonas e amêndoas e as vinhas dominantes; o efêmero: luz e cor, som e silêncio e cheiros.</p> <p>2. Identificação e descrição dos elementos culturais - uso do solo: a estrutura da paisagem e os povoados; acessibilidades: o rio Douro e o caminho de ferro; marcas culturais: as quintas e casais, as estruturais religiosas e os muros.</p> <p>3. Símula - retrato da única e distintiva paisagem cultural de vinha de montanha: os criadores da paisagem</p>

Considerando que a nossa área de estudo - a Quinta de S. Luiz - se integra nesta paisagem de excelência e tendo em conta os nossos objetivos, no documento anterior tem particular relevância a importância que é conferida aos ‘terraços’, considerados um dos três elementos distintivos da autenticidade e integridade da ADV (conjuntamente com a sua antiguidade e encruzilhada de culturas), assim como os fatores que afetam esta área, designadamente os ‘desastres naturais’. Embora sejam focadas, principalmente, as cheias do rio Douro, salienta-se que (...) *the heavy rains that normally precede floods have marked effects on the soil of the Douro hillsides and are responsible for considerable damage to walls, socolcos and patamares* (ob.cit., p.60).

Justifica-se assim, uma análise breve do contexto biogeofísico em que se enquadra a Quinta de S. Luiz, focando as características climáticas (enquanto fator desencadeante) e morfoestruturais que, em associação com o tipo e uso do solo, condicionam a ocorrência de processos geomorfológicos.

2.2 Contexto biogeofísico da área em estudo

2.2.1 Caraterísticas climáticas e morfoestruturais

Integrada no domínio dos climas mediterrâneos de influência continental, no subtipo climático '*acentuado pela posição topográfica*' (Daveau, 1977, 1988), a RDD caracteriza-se por temperaturas médias anuais que, de acordo com A. Pedrosa, Martins e F. Pedrosa (2004), ultrapassam em cerca de 2° a 3°C as áreas situadas na sua periferia, registando uma significativa variação espacial da precipitação, com valores anuais de 385mm em Barca d'Alva e 1953mm em Lamas de Alvadia (Ribeiro, 2000; Jones, 2013). Apesar das precipitações serem tendencialmente baixas e diminuírem para oriente devido ao efeito de barreira promovido pelo alinhamento de relevos Alvão-Marão-Montemuro (fig.10 A, B e C), por vezes verificam-se episódios de precipitação intensa que, associados a prolongados períodos de chuva, são passíveis de originar processos de instabilidade hidrogeomorfológica¹⁴. Refiram-se, a título de exemplo: os eventos de 26 de Dezembro de 1995 e 23 de Novembro de 1996, com valores de precipitação diária de 66,2mm e 102mm, respetivamente; o Inverno de 2000/2001 (em que na estação de Adorigo, só entre Dezembro e Março se registaram 941.1mm) que foi palco de cheias e movimentos de vertente que afetaram grande parte da região (Bateira *et al.*, 2011, fig., 1); ou as ocorrências de Maio e Julho de 2014, estas últimas afetando sobretudo a área do Pinhão (fig.11, 2 a 4) e que, de acordo com os dados da estação de Adorigo totalizou os 72.8mm, quando o valor médio da normal climatológica 1931-60 é de 12,5mm (A. Pedrosa e M. Martins, 2004; A. Pedrosa et al. 2004; Fernandes, 2014; ADVID, 2014).

¹⁴ . Calculando limiares críticos de precipitação para a ocorrência de algumas intempéries na área em estudo, Fernandes (2014, p.84) verificou que (...) *os valores revelam que os eventos ocorrem associados a probabilidades extremas com períodos de retorno variados pelo que, é possível depreender que não existe uma tendência a regular para a ocorrência dos mesmos*. Mas refere, para os casos estudados, que (...) *a combinação crítica sucedeu em períodos de tempo bastante diminutos, mais precisamente 4 e 1 dias respetivamente*, assinalando a importância da intensidade da precipitação embora seja de considerar igualmente a precipitação acumulada.

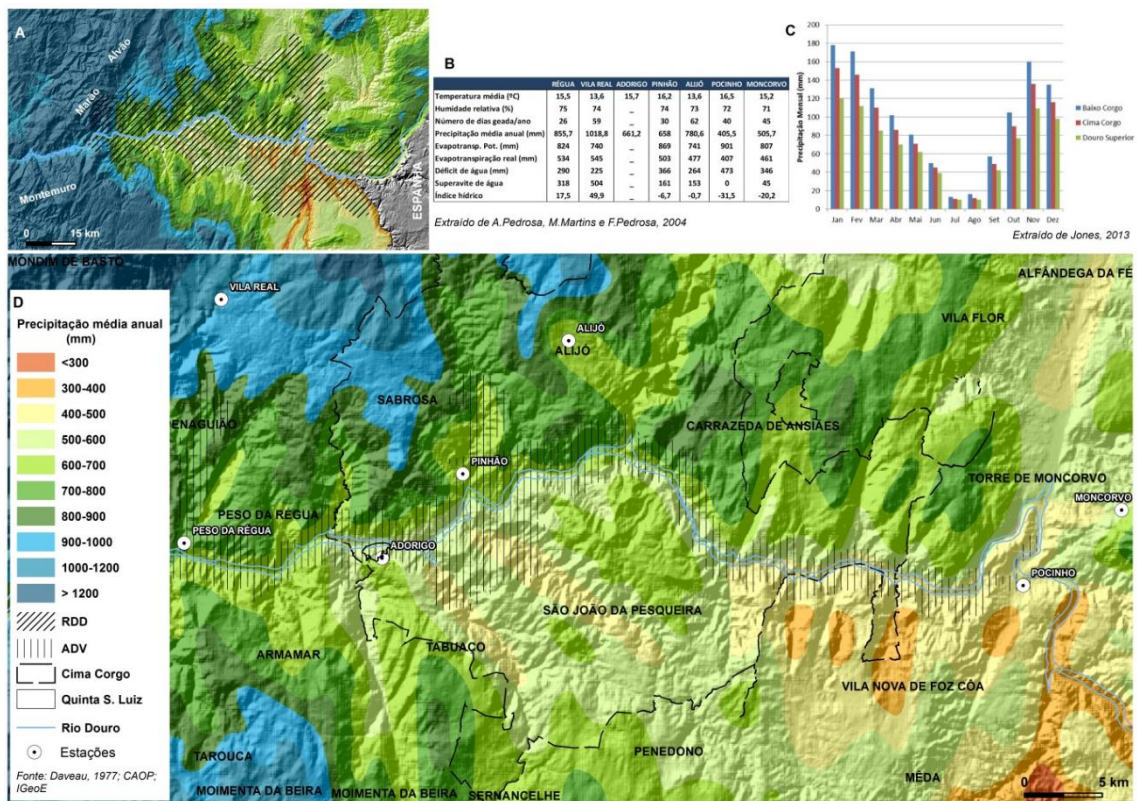


Figura 10 Variação da precipitação na área em estudo. A. Enquadramento geral da RDD; B. Parâmetros climáticos das principais estações meteorológicas; C. Variação da precipitação média mensal nas três sub-regiões da RDD; D. Zoom de A abrangendo a ADV e a quinta de S. Luiz.



Figura 11 Processos de instabilidade associados a eventos de precipitação intensa. 1. Movimento de vertente, estrada Régua-Pinhão, 2001; 2. Movimentos e erosão de solos, Maio 2014; 3 e 4. Eventos de Julho de 2014.

Estes eventos de precipitação tendem a refletir-se sobre os terraços agrícolas, promovendo a destruição de muros de pedra ou desencadeando a formação de sulcos e ravinas nos taludes de terra.

Estas feições erosivas são notórias na nossa área de estudo, que se enquadra na Quinta de S. Luiz (fig.12). Situada na freguesia de Adorigo (concelho de Tabuaço, distrito de Viseu), esta quinta abrange uma área de 125ha, 70% dos quais plantados com vinha de acordo com diferentes tipos de armação de terreno. Englobada nos limites do ADV, na sub-região do Cima Corgo, faz parte do grupo Sogevinus e é considerada uma das mais representativas desta área, produzindo vinhos do Porto e vinhos Douro DOC (Denominação de Origem Controlada)¹⁵.

De acordo com os dados da estação meteorológica mais próxima (Adorigo), o valor médio de precipitação anual nesta área é de 668,5mm (série 1933-2001), embora se registem alguns anos que excedem bastante este valor, nomeadamente os anos hídricos de 1976/77 (1153.3mm), 1997/98 (1081.7mm) e 2000/01 (1272.4mm), o mais elevado da série. Ao nível da distribuição mensal, destacam-se sobretudo Novembro, Dezembro e Janeiro, mas os valores médios mascaram os máximos que podem ser atingidos (fig. 13). Salienta-se ainda, ao nível da precipitação diária máxima anual, uma média de 38.5mm, oscilando entre 18.1 e 65.4mm. Sobre este parâmetro é importante destacar que os meses de Dezembro e Janeiro são aqueles em que são mais frequentes os máximos diários (em 13 e 12 anos, respetivamente), seguido de Novembro, Fevereiro e Junho (7 anos).

¹⁵. <http://www.sogevinus.com/quinta-de-s-luiz/>



Figura 12 Sulcos (1) e Ravinas (2) na Quinta de S.Luiz.

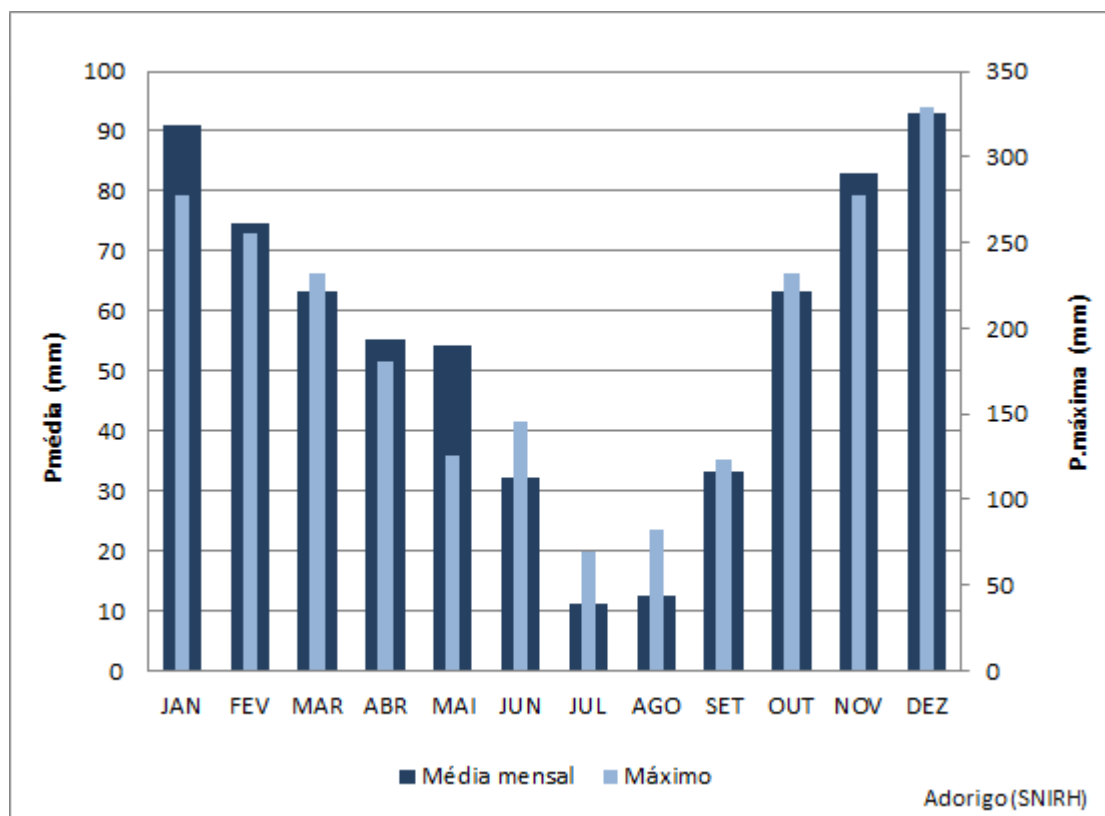


Figura 13 Valores médios mensais de precipitação e máximos respetivos.

Como atrás referimos, os baixos valores de precipitação da RDD, quando comparados com os registados para ocidente do alinhamento Alvão-Marão-Montemuro, traduzem o efeito de barreira à penetração das massas de ar atlânticas. Assim, existe uma ligação importante entre o clima e os aspetos morfoestruturais desta área.

Integrada na Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Varisco (apesar de uma pequena parte se situar bordo SW da Sub-zona da Galiza Média e Trás-os-Montes (fig.14 A), e fazendo parte dos ‘Planaltos Centrais’ de Trás-os-Montes, tal como definido por Ferreira (1991) ao nível dos compartimentos geomorfológicos do Norte de Portugal (fig.14 B), esta área apresenta características muito específicas derivadas principalmente da conjugação entre a tectónica e a dinâmica geomorfológica associada, designadamente no condicionamento que exerce sobre o Vale do Douro¹⁶. Com efeito, a topografia desta área traduz-se pelo seu carater acidentado, tipificado pelo forte encaixe do Douro (que apresenta vários tramos retilíneos ou mudanças bruscas de direção, indiciando influência da tectónica) e originando vertentes extensas de declive acentuado essencialmente talhadas em rochas metassedimentares (fig.14 C), num contexto geológico que embora condicionado pela orogenia varisca apresenta traços da neotectónica, tal como demonstram as falhas ativas que cortam a área segundo acidentes de direção NNE-SSW (desligamentos tardi-hercínicos de Verín-Régua-Penacova e Bragança-Vilariça-Manteigas).

¹⁶. Os Planaltos Centrais desenvolvem-se entre as Montanhas Ocidentais - encontrando-se separados destas pelo desligamento Verín-Régua-Penacova - e a superfície da Meseta, com a qual contactam através de um rebordo abrupto definido pelo desligamento de Bragança-Vilariça-Manteigas (Ferreira, 2004).

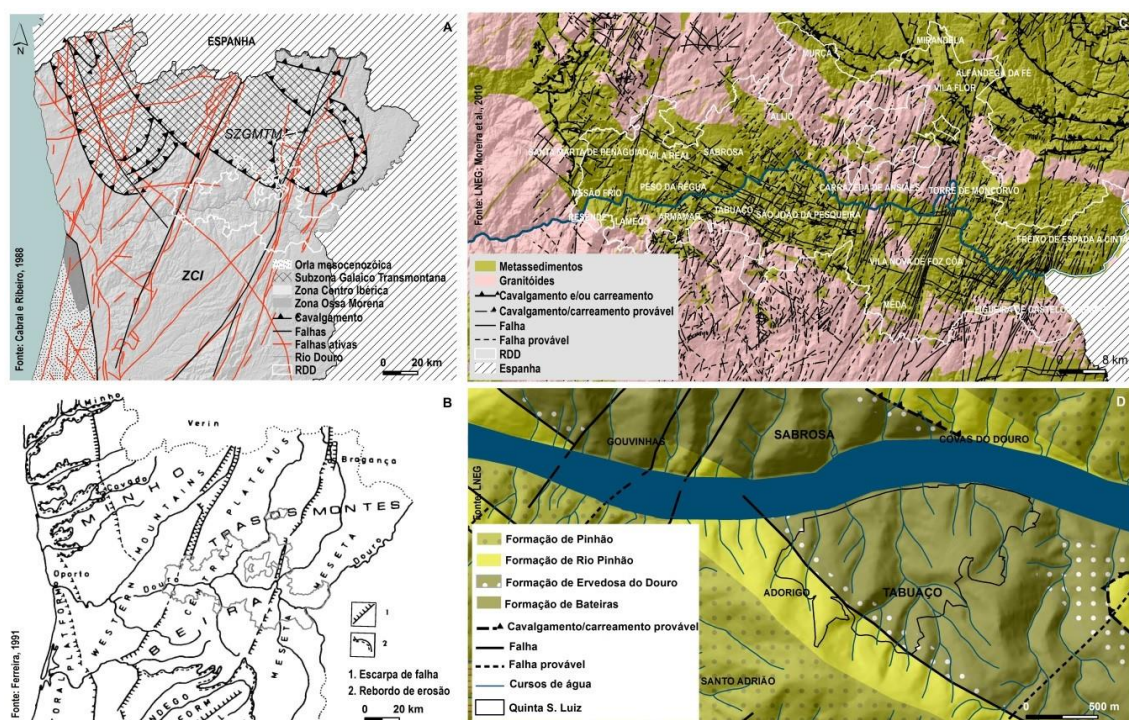


Figura 14 Enquadramento morfoestrutural da área em estudo. A. Zonamento do Maciço Varisco; B. Compartimentos geomorfológicos; C. Geologia dominante na RDD; D. Litologia e tectónica na área da quinta de S. Luiz.

Embora aflorem em vastas áreas da ZCI, as rochas granitóides restringem-se a pequenas ‘manchas’ na RDD, uma vez que os solos derivados dos granitos não são adequados à produção de vinhos do Douro (Ribeiro, 2000). Com efeito, Barbosa (2006, p.32) refere que os solos xistosos determinam em grande parte a qualidade do vinho, salientando que a (...) *Casa do Douro excluía mesmo, para efeitos de benefício, todas as vinhas assentes em solos de origem granítica, até à entrada do Método de Pontuação*¹⁷. Por isso dominam formações metamórficas do Grupo do Douro (que integram o Supergrupo Dúrico-Beirão), que, de acordo com Sousa e Sequeira (1989), são constituídas por dois conjuntos: um autóctone e mais antigo que integra as formações de Bateiras e Ervedosa do Douro; outro alóctone que abrange as formações de Rio Pinhão, Pinhão, Desejosa e S. Domingos. Estas formações são essencialmente constituídas por

¹⁷ . O autor citado salienta ainda que na escala de valores atribuída à natureza do solo, o máximo é apenas conferido aos solos derivados de xisto, sendo classificados com pontos negativos os solos de transição, os graníticos e os que se situam em áreas inundáveis. Refira-se, ainda, tal como expresso no Artigo 5º do Decreto-lei n.º 173/2009 (p. 4999, citado por Leitão, 2014, p. 37), que as vinhas da RDD (...) *devem estar ou ser instaladas em solos predominantemente de origem xistosa, sem exclusão de manchas de solos de origem granítica, reconhecidamente aptos à produção de vinhos de qualidade*.

filitos, xistos e metagrauvaques, por vezes entrecortadas por alinhamentos quartzíticos (Moreira *et al.*, 2010).

Na quinta de S. Luiz, a formação de Bateiras é o substrato dominante, observando-se duas estreitas faixas de direção NW-SE das formações de Ervedosa do Douro e de Rio Pinhão (contatando por falha) no extremo ocidental da quinta (fig.14 D).

A formação de Bateiras é definida como a mais antiga do Grupo do Douro e subdivide-se em dois membros, segundo Sousa e Sequeira (1989), sendo o inferior (...) *constituído por xistos negros intercalados por metagrauvaques e filitos, enquanto o superior se caracteriza pela ocorrência de níveis calcários associados a espessos metagrauvaques intercalados por filitos escuros e listrados* (Fernandes, 2014, p.79/80). A de Ervedosa do Douro integra filitos cloríticos e quartzo-filitos verdes de estratificação muito fina, por vezes intercalados com um pequeno horizonte de magnetite (Sousa, 1984), enquanto a formação de Rio Pinhão abrange sobretudo metagrauvaques e/ou metaquartzovaques com intercalações filíticas finas (Sousa e Sequeira, *ob.cit.*). No entanto, devido à semelhança de fácies entre a formação de Bateiras e a de Rio Pinhão, alguns autores consideram que não faz sentido diferencia-las (Silva e Ribeiro, 1985).

Estas formações vão-se refletir sobre as características dos solos da quinta de S. Luiz, principalmente ao nível textural, uma vez que, como referem Moreira *et al.* (2010, p.151, apud Faria, 2014, p.9), a diferenciação entre as formações do grupo do Douro deriva sobretudo da (...) *variação das percentagens relativas de areias e argilas*.

2.3 Características e uso do solo: classificação e sistemas de armação dos terrenos

Originalmente, os solos dominantes da RDD fazem parte dos designados Leptossolos. São solos pouco espessos em que a rocha-mãe normalmente aflora a uma profundidade igual ou inferior a 30cm, pelo que limitam o crescimento de raízes e geralmente são bastante pedregosos (IUSS Working Group WRB, 2015). Consequentemente, a sua utilização implica no Douro a prática da surriba, ou seja o (...) *desmantelamento do substrato rochoso xistento de solos originais delgados*, com destruição do substrato rochoso até mais de 1metro de profundidade para permitir a instalação da vinha, a que se associa a armação do terreno em socalcos (Figueiredo, 2015,

p. 17). Neste contexto, estes solos assumem a classificação frequente de antrossolos surrúbicos, dada a sua profunda modificação associada à intervenção do Homem para as práticas agrícolas. Ou seja, a surriba permite criar antrossolos cuja espessura nunca deverá ser inferior a 1m, incorporando uma mistura heterogénea de materiais finos e grosseiros, tendendo estes últimos a assumir maior percentagem nas camadas adjacentes ao substrato rochoso (EcoVitis, s/d¹⁸).

Segundo Barbosa (2006) os antrossolos ocupam uma grande percentagem da área da RDD, evidenciando geralmente texturas que variam entre franco-arenosas finas e franco-limosas (o que facilita a retenção de água) e apresentando pedregosidade superficial que contribui, em parte, para limitar a erosão hídrica.

Na quinta de S. Luiz, a análise da textura do solo revela uma percentagem silte e argila cujo valor médio corresponde a 51,3% (embora em algumas amostras ultrapasse os 60%), refletindo a sua origem associada a metassedimentos de granularidade fina e afetados por uma densa rede de fracturação, que acentua a sua alterabilidade (fig.15). O teor de cascalho, igualmente significativo – valor médio de 28,5% mas podendo atingir mais de 40%), associa-se ao trabalho de mobilização profunda dos leptossolos de origem de forma a criar condições necessárias à implantação da vinha (Magalhães, 2012).

¹⁸<http://www.ecovitis.utad.pt/resultados/caracter%C3%ADticas%20de%20dois%20perf%C3%ADs%20ti%C3%ADpo%20de%20solo%20do%20douro.pdf>. Acesso em 20/06/2016.

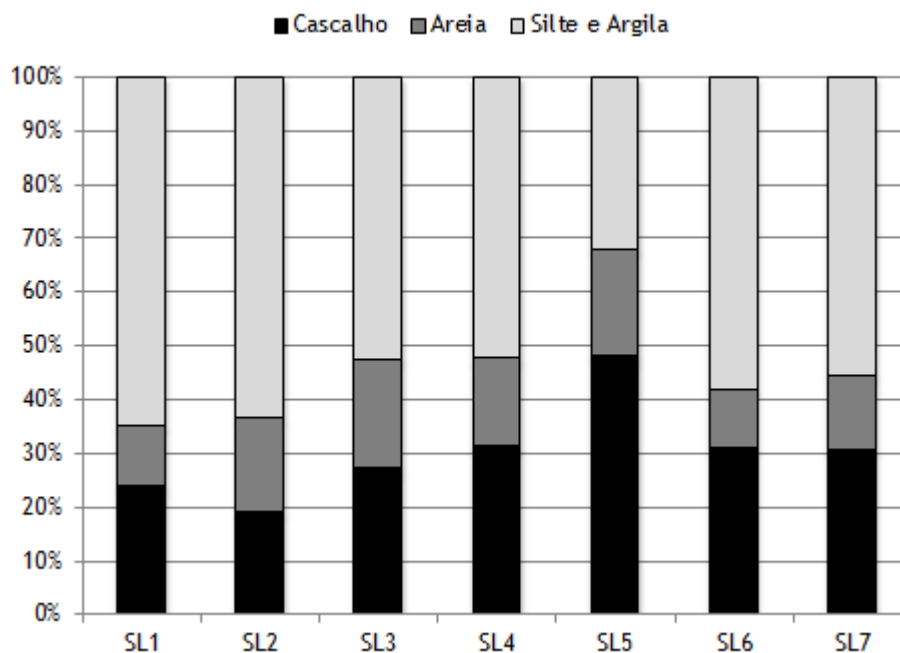


Figura 15 Granulometria de amostras de solo da quinta de S. Luiz. Fonte: MODRIS.

Estes aspetos vão ter reflexos na capacidade de infiltração, condutividade hidráulica saturada e resistência elétrica dos solos, se bem que outras variáveis tenham de ser consideradas, mas tal será discutido nos capítulos seguintes.

Mas se os solos constituem um dos traços marcantes da RDD, é preciso não esquecer, como refere Leitão (2014, p.38) citando Fauvrelle (2007, p.88),

(...) que eles derivam de uma intervenção antrópica 'ciclópica', associada ao processo de surriba e às técnicas de armação do terreno. Efetivamente, (...) Criado o solo é necessário retê-lo para o plantio da vinha e de outras culturas características da região, o que motivou o desenvolvimento de várias formas de armação das encostas, mas que geralmente se subdividem em dois grupos principais: (...) as formas tradicionais ou históricas, caracterizadas pela utilização de muros de xisto como suporte do solo, e (...) as formas modernas, mais recentes, que visam a mecanização do maior número de tarefas culturais.

Assim, se até finais do século XIX se destacavam os terraços pré-filoxéricos (figura 16¹⁹ A), estreitos e normalmente com 1/2 fiadas de vinha não aramada e sustidos por muros baixos de pedra em seco que acompanhavam as curvas de nível (muitos atualmente

¹⁹ . Fotografias extraídas de:

http://www.franciscogiraovitivinicultura.com/Imgs/articles/article_10/nuno_magalhaes_2_pt.pdf (AB, C e E); Manual de Boas Práticas Vitícolas (D); <http://agronomia1961.blogspot.pt/2011/12/caracterizacao-generica-da-cultura-da.html> (F).

abandonados e transformados em mortórios), após a praga da filoxera os terraços passaram a ser mais largos e inclinados e com um número de fiadas variável (4, 5 ou mais, fig.16 B), mantendo-se os muros de pedra embora diminuindo o seu número e tornando-se por regra mais elevados (Seixas *et al.*, 2006)²⁰.

Este sistema de armação do terreno manteve-se durante várias décadas, mas a mecanização dos trabalhos agrícolas ditou, em finais da década de 1970, a utilização de patamares com taludes em terra, com uma altura variável em função do declive natural do terreno. Albergando geralmente uma ou duas fiadas de videiras separadas entre si cerca de dois metros (figura 16, C e D) normalmente não se constroem em áreas em que a inclinação excede os 40%, pelo que hoje em dia muitos produtores optam por patamares de uma só fiada ou por micropatamares entre muros (sistema que se desenvolve sobretudo a partir da década de 1990, figura 16 E), o que está de acordo com a Resolução do Conselho de Ministros 150/2003 de 22 de Setembro, que considera estes tipos de armação adequados em vertentes com declive entre 40 e 50%²¹. No entanto, muitas vezes se têm levantado contra estes sistemas, considerando que desvirtuam a paisagem do Douro e colocam em risco a classificação do ADV como Património Mundial da Humanidade (Salavessa, 2005; Lourenço-Gomes e Rebelo, 2012).

A partir da década de 1980 começa a surgir o sistema da ‘vinha ao alto’, em que as vinhas são plantadas em fiadas que acompanham o declive da encosta, sendo este sistema restrito a terrenos de inclinação inferior a 30% (fig.16 F), pelo que normalmente se encontram em áreas de topo aplanado ou rechãs (Resolução do Conselho de Ministros 150/2003 de 22 de Setembro e Despacho Conjunto 473/2004 de 30 de Junho).

²⁰ . De acordo com Martins (1991), as características destes terraços associam-se à necessidade de sustentar uma surribo mais profunda necessária ao plantio dos porta-enxertos da vinha americana.

²¹ . De acordo com Fernandes (2014, p.87), citando Magalhães (2012), (...) *para declives superiores a 20% os patamares não devem comportar mais de dois bardos, sendo que a largura dos terraços não deverá exceder os 3,8 a 4 m.*



Figura 16 Sistemas de armação de terreno. Socalcos pré (A) e pós filoxéricos (B) no Vale do Rio Torto; Patamares de dois (C, Quinta de Ventozelo) e um bardo (D); Micropatamares entre muros, Quinta de Noval (E); Vinha ao alto, Quinta do Seixo (F).

Considerando os dados relativos a 2003 para o total da RDD, podemos verificar que nesta altura dominavam os terraços pós-filoxéricos (49.7%) a que se seguem as parcelas sem armação (23.9%), embora a percentagem destas últimas seja sobretudo o reflexo da sua supremacia no Douro Superior (fig.17).

Tipo armação	Baixo Corgo		Cima Corgo		Douro Superior		RDD	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Terraços Pré-Filoxera	419	3,1	898	4,6	419	3,5	1736	3,8
Terraços Pós-Filoxera	10614	77,7	10083	51,3	1873	15,5	22570	49,7
Patamares	1774	13,0	4058	20,6	1623	13,5	7455	16,4
Vinha ao Alto	501	3,7	1448	7,4	538	4,5	2486	5,5
Sem armação	315	2,3	3009	15,3	7506	62,3	10831	23,9
Outras armações	41	0,3	164	0,8	87	0,7	292	0,6
Total	13664	100,0	19660	100,0	12046	100,0	45370	100,0

Fonte: ADVID, 2004

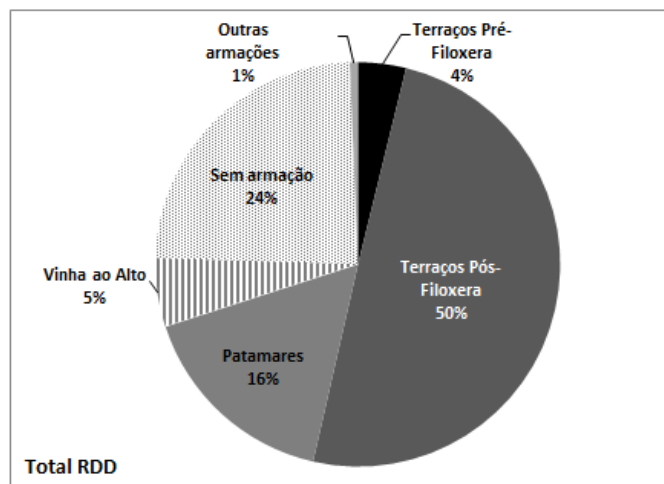


Figura 17 Área ocupada por parcelas segundo o tipo de armação de terreno (2003), nas sub-regiões da RDD.

Relativamente à área do ADV o panorama é relativamente similar se considerarmos os dados de 2001, apesar dos valores apontados para a armação em patamares ser bastante superior e a ‘sem armação’ evidenciar menores valores (fig.17). Como refere Lourenço-Gomes e Rebelo (2012, p.7),

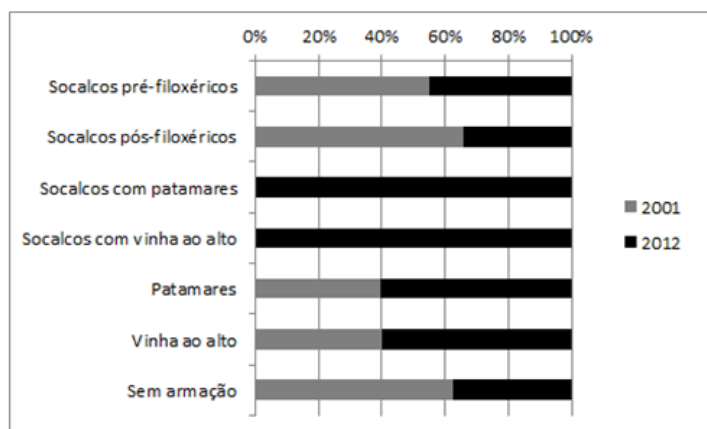
(...) no início da última década, no ADV predominava a vinha em terraços pós-filoxera (50%) e seguidamente a vinha em patamares (35%). As formas mais modernas ocupam 12% (dos quais 5% é vinha ao alto e 7% é vinha sem armação de terreno e outras). A vinha tradicional em socalcos pré-filoxera só representa 2%.

Mas mais importante parece-nos a variação que se observa no ADV, quando comparamos a situação em 2001 e 2012 (fig.18). Com efeito, é notório o aumento da armação em patamares e da vinha ao alto, tendência que se observa claramente na paisagem atual do Douro.

Na quinta de S. Luiz, coexistem diferentes tipos de armação de terreno (fig.19). Numa área total de cerca de 132ha a vinha ocupa 70.4%, correspondendo a maior parte a

patamares de dois e um bardo (53.2 e 23.1%, respetivamente), ocupando a vinha ao alto 12% da superfície e a vinha tradicional (sem armação) 11%. Os muros subsistem residualmente, estimando-se um valor de 2500m². Este assunto será retomado nos capítulos 3 e 4.

Tipo armação	2001		2012		Variação
	ha	%	ha	%	ha
Socalcos pré-filoxéricos	215	2,3	200	1,9	-15
Socalcos pós-filoxéricos	4659	50,2	2762	26,1	-1897
Socalcos com patamares	0	0,0	514	4,9	514
Socalcos com vinha ao alto	0	0,0	26	0,2	26
Patamares	3297	35,5	5785	54,7	2488
Vinha ao alto	509	5,5	871	8,2	362
Sem armação	608	6,5	412	3,9	-196
Total	9288		10570		



Fonte: Andresen e Rebelo, 2013

Figura 18 Comparação da área ocupada por parcelas segundo o tipo de armação de terreno (2001-2012), no ADV.

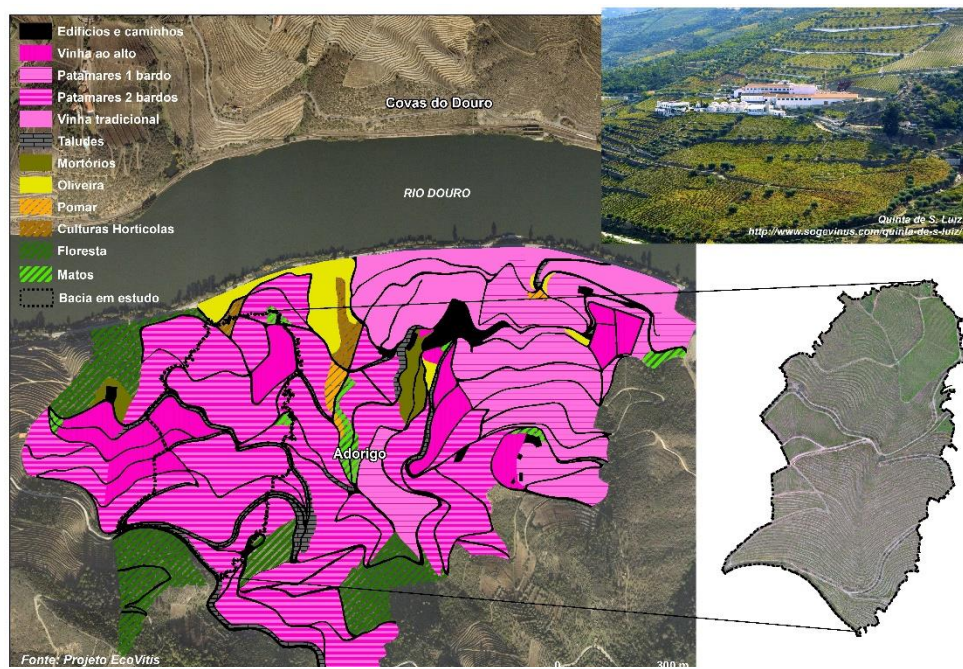


Figura 19 Uso do solo na Quinta de S. Luiz.

Capítulo III – Materiais e métodos

3.1 Nota introdutória

Para concretizar os objetivos definidos anteriormente, culminando com uma proposta de modelação da erosão hídrica de solos na quinta de S. Luiz, foi estabelecido um esquema de trabalho subdividido em várias etapas (fig. 20).

Para facilitar a sua descrição, subdividimos a caracterização dos materiais e metodologias utilizadas em vários pontos, que serão analisados seguidamente. Alguns resultados serão desde já apresentados, sendo a sua análise efetuada no capítulo 4.

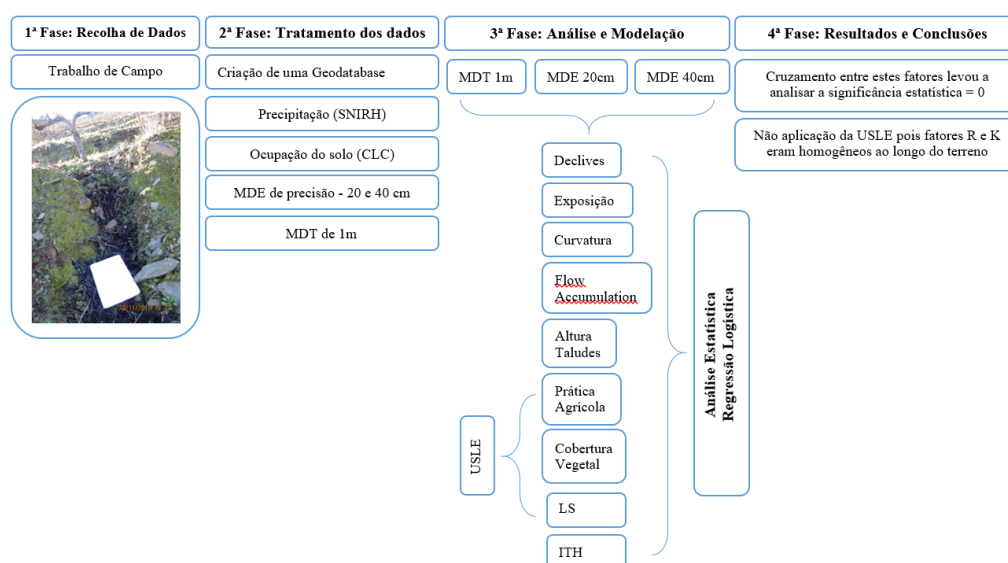


Figura 20 Esquema de trabalho incorporando os materiais e métodos adotados.

3.2 Inventário

A primeira etapa, centrada em trabalho de gabinete, correspondeu à recolha de toda a informação já disponível sobre a área em estudo, uma vez que, como referimos, esta quinta constitui uma das áreas amostra do projeto MODRIS. Neste contexto, beneficiamos de um conjunto de ensaios laboratoriais e *in situ* previamente efetuados, que constituem *inputs* importantes para a caracterização da textura dos solos e do seu comportamento hídrico (i.e. capacidade de infiltração, condutividade hidráulica, resistividade), elementos necessários à compreensão dos processos erosivos.

Nesta etapa e face ao conhecimento prévio da área, foi igualmente selecionada a sub-bacia hidrográfica a analisar, efetuando-se a sua delimitação inicial com base no *ArcHydro* e utilizando informação de base à escala 1:25000, transposta e impressa sobre os ortofotos disponíveis.

Procedemos igualmente à pesquisa e consulta de bibliografia centrada no tema alvo da nossa dissertação, assim como referências orientadas para a área de estudo.

O trabalho de campo constituiu a etapa subsequente, visando o reconhecimento das características do terreno e a inventariação das feições erosivas – sulcos e ravinas – com base numa ficha tipo pré elaborada (fig. 21). O critério de distinção destas formas baseou-se na sua profundidade, considerando a revisão da bibliografia (cf. capítulo 1), sendo classificadas como sulcos profundidades inferiores a 30 centímetros e como ravinas as que apresentavam um valor maior que 30cm. Assim, para além da localização das feições, cujas coordenadas foram obtidas através de um *Global Positioning System* (GPS) de alta precisão (centrado na sua secção superior/cabeceiras), foram efetuadas medições relativas à sua profundidade, largura e comprimento, a que se associou o registo fotográfico, assim como informações consideradas relevantes em termos geomorfológicos, hidrológicos e ocupação do solo, principalmente ao nível do sistema de armação do terreno.

Relativamente às medições *in situ*, é importante referir que como no caso em estudo as feições erosivas apresentam na generalidade dos casos formas simples lineares, com secções transversais (*cross sections*) pouco variáveis e limites relativamente nítidos - tendo em conta que se desenvolvem preferencialmente nos taludes de terra cuja altura e declive são relativamente uniformes – optamos, no caso da largura e profundidade, por efetuar a medição considerando os pontos que denotavam valores máximos²².

²². Reconhecemos que a forma mais correta seria proceder a várias medições por feição, subdividindo-as em transeptos situados nas secções superior, média e inferior (Nasri *et al.*, 2008), ou em pontos onde se verificassem alterações sensíveis da sua geometria (Casalí *et al.*, 2006). Mas considerando os aspetos focados, designadamente o facto da própria dimensão das feições erosivas ser condicionada pela geometria dos taludes (por exemplo, o seu comprimento não excede a altura do talude) assim como as dificuldades logísticas que estas medições implicavam (principalmente em termos do tempo e custo que envolveriam), consideramos que a nossa opção foi a mais adequada.

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuaço)


Ficha de inventário – Processos Erosivos		Ficha de inventário – Processos Erosivos	
I. DADOS GERAIS Quinta: Data: Nº da feição: Código: Coordenadas:	II. FOTOGRAFIA 	I. DADOS GERAIS Quinta: S. Luiz Data: 7 de Dezembro de 2015 Nº da feição: 15 Código: Foto nº2272 Coordenadas:	II. FOTOGRAFIA 
III. TIPO DE EROSÃO Erosão laminar <input type="checkbox"/> Sulcos <input type="checkbox"/> Ravina <input type="checkbox"/> Gully efêmero <input type="checkbox"/> Gully permanente <input type="checkbox"/>	IV. DADOS GEOMÉTRICOS Comprimento: Profundidade: Largura:	III. TIPO DE EROSÃO Erosão laminar <input type="checkbox"/> Sulcos <input checked="" type="checkbox"/> Ravina <input type="checkbox"/> Gully efêmero <input type="checkbox"/> Gully permanente <input type="checkbox"/>	IV. DADOS GEOMÉTRICOS Comprimento: 1,56 cm Profundidade: 0,05 cm Largura: 0,10 cm
VI. DADOS GEOMORFOLÓGICOS:		VI. DADOS GEOMORFOLÓGICOS: Sulco de pequena dimensão, escassa profundidade, em talude da parte inferior da bacia	
VII. OCUPAÇÃO DO SOLO:		VII. OCUPAÇÃO DO SOLO: Sem vegetação Vinha; patamar de dois bardos. Vegetação do talude muito degradada; pedregosidade superficial por vezes acumula-se de forma irregular.	
VIII. CARATERÍSTICAS DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO:		VIII. CARATERÍSTICAS DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO: Drenagem condicionada por canalização; caminhos a montante promovem desvio fluxos	
IX. DESCRIÇÃO GERAL / OBSERVAÇÕES:		IX. DESCRIÇÃO GERAL / OBSERVAÇÕES: Verificar sistema de drenagem (falar com eng.)	
X. PREVISÃO:		X. PREVISÃO: Monitorizar talude, que se encontra afetado por vários sulcos nos setores onde o coberto vegetal é menos denso	

Figura 21 Ficha utilizada no inventário das feições erosivas na Quinta de S. Luiz

Este levantamento foi levado a cabo entre os meses de Outubro e Janeiro, prolongando-se mais do que o previsto face a condicionamentos ligados às condições climáticas, sendo identificadas no total 283 feições, correspondendo 178 a sulcos e 105 a ravinas (fig. 22). Salienta-se que foram também identificados movimentos de vertente que, embora importantes na contextualização dos processos de erosão, não serão objeto do nosso estudo.

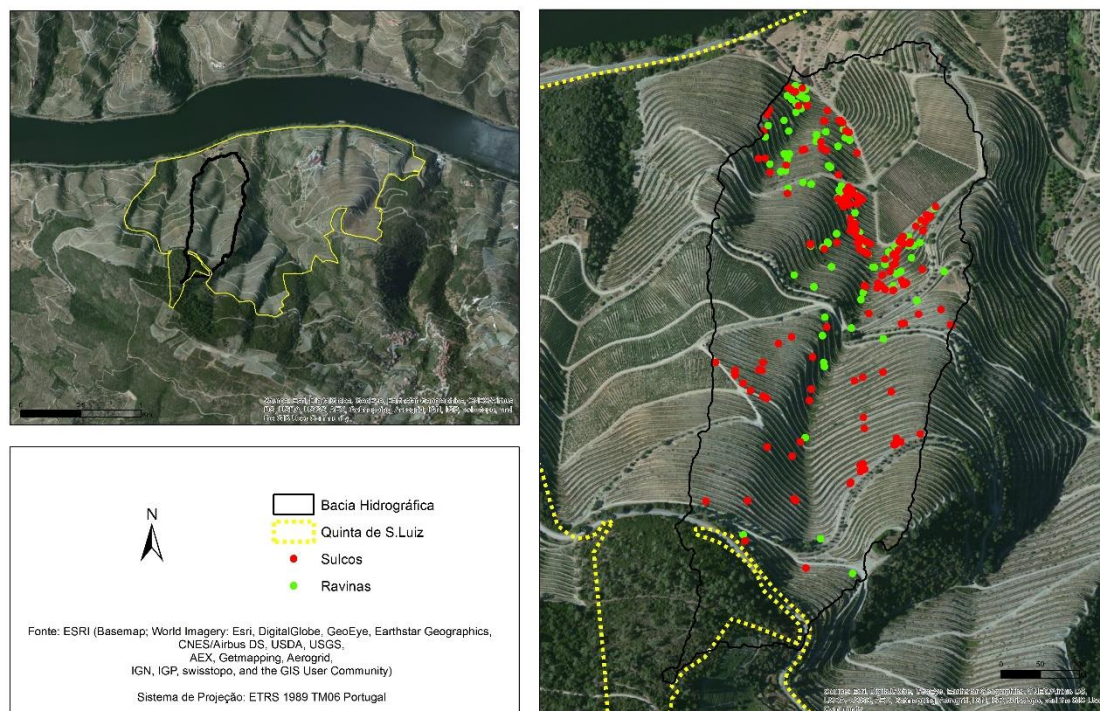


Figura 22 Localização e caracterização das feições erosivas na Bacia Hidrográfica na Q^{ra}. de S. Luiz (com o modelo de 1m).

Concluído o inventário, foi construída uma base de dados (*Geodatabase*) para um melhor tratamento e análise da informação. A construção desta *geodatabase* permite uma melhor organização de todo o conjunto de dados, englobando toda a informação em formatos vetorial e raster que vai sendo progressivamente gerada pelo processamento em SIG dos dados de origem, tornando a sua posterior manipulação mais fácil de localizar (uma vez que todos os ficheiros do projeto se encontram no mesmo diretório) e, consequentemente mais rápida.

3.3 Modelo Digital de Elevação

Quer para a análise estatística, quer para uma eventual modelação, é essencial a existência de um Modelo Digital de Elevação (*MDE*), a partir do qual são normalmente derivados todos os parâmetros necessários através de ferramentas SIG.

Considerando as dimensões da área em estudo, é fundamental que este modelo possua o detalhe/resolução adequado, pelo que, no âmbito do MODRIS, foi levado a cabo

um levantamento por meio de um sistema de aquisição de imagens VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), efetuado por uma empresa contratada para o efeito²³.

As fotografias obtidas (um total de 413), posteriormente tratadas através de *software* adequado (*Agisoft PhotoScan*, neste caso), permitiu gerar modelos com diferentes resoluções, tratados e testados por Fonseca (2016, em preparação) no âmbito da sua dissertação de mestrado.

Note-se que a resolução do modelo vai ter reflexos nos valores de vários parâmetros que são calculados a partir do *MDE*, assim como, por exemplo, na configuração das áreas amostra em estudo (i.e. bacias hidrográficas), considerando-se que a escolha dessa resolução vai depender fundamentalmente da dimensão global dessas áreas, das suas características topográficas e do(s) processos que se pretendem modelar²⁴. No contexto do nosso trabalho e considerando, designadamente, as dimensões das feições erosivas (sulcos e ravinas) e da bacia amostra, testamos os modelos com pixéis de 0.4m e 0.2m (fig. 23), embora inicialmente tivessem sido efetuados alguns cálculos com o de 1m²⁵.

²³ . De acordo com Fonseca (em preparação), estas imagens (...) datam de dia 20 de Novembro de 2015 tendo sido utilizado o VANT, quadricoptero modelo DJII (...) com câmara integrada modelo FC300X. As fotografias apresentam 4000 pixéis de largura por 3000 pixéis de Altura (4000x3000, 12 MP (Megapixel). O modelo possui sistema integrado de GPS de forma a incorporar coordenadas a cada fotografia captada (os dados referentes as coordenadas GPS foram guardadas no formato EXIF). O Voo realizou-se a uma altitude de 100 metros face ao solo.

²⁴. Como referem Zhang, Chang and Wu (2008, p.925), *DEMs with different resolutions and accuracies can generate varied topographic and hydrological features, which can in turn affect predictions by soil erosion models.*

²⁵. A opção pelos modelos de maior resolução também contemplou o facto do modelo de 1m já ter sido utilizado por Fernandes (2014) na sua dissertação de mestrado, cuja área de estudo, como referimos, foi igualmente a quinta de S. Luiz.

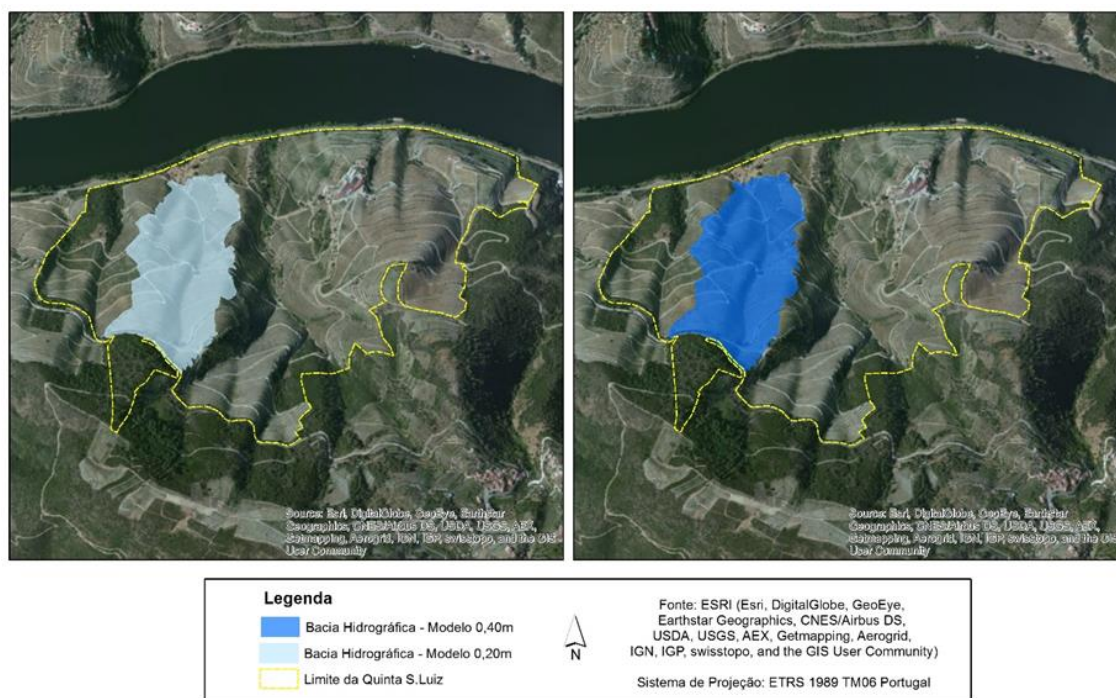


Figura 23 Bacias Hidrográficas segundo os modelos de precisão (MDE) de 0,20m e 0,40m, na Qr^a S. Luiz

3.4 Análise Estatística

Após conclusão do inventário e estando disponíveis os *MDE*'s, procedemos à análise estatística da informação recolhida, assim como a determinadas operações de análise espacial (em ambiente SIG - *ArcGIS 10.2.2*), cruzando a informação relativa às características geométricas de sulcos e ravinas com vários parâmetros que consideramos relevantes no condicionamento da erosão, sendo posteriormente utilizados na modelação.

Numa primeira fase, foram transpostos e organizados em *Excel* os dados recolhidos no terreno – localização (coordenadas x,y), tipo de feição e respetivas largura, comprimento e profundidade – posteriormente transformados em *shapefile* de pontos e manipulados em *ArcGIS*, através de cálculos simples (quadro 1), estabelecidos com base nas propostas de Nasri *et al.* (2008), designadamente o ‘volume’ das feições que corresponde ao solo erodido (Casalí, Giménez e Campo-Bescós, 2015).

Quadro 1 Cálculo de alguns parâmetros geométricos dos sulcos e ravinas.

Cálculos	Fórmula	Unidade
1. Área (A) da feição Área	$A = \text{Largura (m)} \times \text{Comprimento (m)}$	m^2
2. Secção (cross section, S)	$S = \text{Largura (m)} \times \text{Profundidade (m)}$	m^2
3. Volume de solo erodido (V)	$V = \text{Secção (m}^2) \times \text{Comprimento (m)}$	m^3/m
4. Solo erodido total/área bacia (SET)	$\text{SET} = \text{Solo erodido total (V)} : \text{Área da Bacia}$	m^3/m^2

Efetuada estes cálculos iniciais, procedeu-se à determinação, para sulcos e ravinas, dos respetivos valores máximos e mínimos, média, moda e desvio-padrão (ver quadro 5 e 6, capítulo 4).

Na sequência destes procedimentos, após prévia definição das variáveis condicionantes que seriam aplicadas na modelação da suscetibilidade à erosão – Declive/comprimento da vertente (LS), *Flow accumulation* (Flowacc), Curvatura (Curv), Altura do talude (TAL), Índice Topográfico de Humidade (ITH), Cobertura do solo (FC) e Prática agrícola (FP)²⁶ - procedeu-se à extração dos seus valores (*Spatial Analyst Tools – Extraction – Sample*) para cada uma das feições inventariadas. Neste contexto, a extração foi efetuada tendo por base os *rasters* das variáveis derivadas dos *MDE*'s de 20cm e de 40cm (quadros x e y, anexo 1).

Toda esta informação foi representada graficamente, estabelecendo-se a comparação entre a geometria de sulcos e ravinas, tentando-se ainda estabelecer correlações entre estes valores e as variáveis condicionantes de erosão consideradas (ver capítulo 4).

3.5 Modelação

Sem dúvida que a modelação é a parte mais complexa de qualquer trabalho em que se pretende avaliar a distribuição espacial da suscetibilidade à erosão hídrica de solos. Este exercício torna-se ainda mais complexo na área em estudo, uma vez que a morfologia do terreno é condicionada pelos sistemas de armação do terreno, definindo um quadro relativamente homogéneo (em termos de declive e altura dos taludes, por exemplo) dentro de cada tipologia.

²⁶. A justificação e definição destas variáveis serão descritas no ponto seguinte.

Vimos que existem vários modelos estruturalmente distintos (empíricos, conceptuais e fisicamente baseados, semi-quantitativos), de aplicação a várias escalas de análise espacial e mesmo temporal e orientados para processos distintos. Referimos, igualmente, que a escolha do modelo a utilizar depende em grande parte do objetivo que se pretende concretizar, embora, obviamente, se tenham de considerar as características da área em estudo.

De acordo com trabalhos prévios desenvolvidos na RDD e na própria área da quinta em estudo, assim como considerando que pretendíamos avaliar resultados considerando a utilização dos dois *MDE*'s de detalhe, começamos por avaliar a possibilidade de aplicação da *USLE*, de acordo com o esquema de cálculo representado na fig. 24.

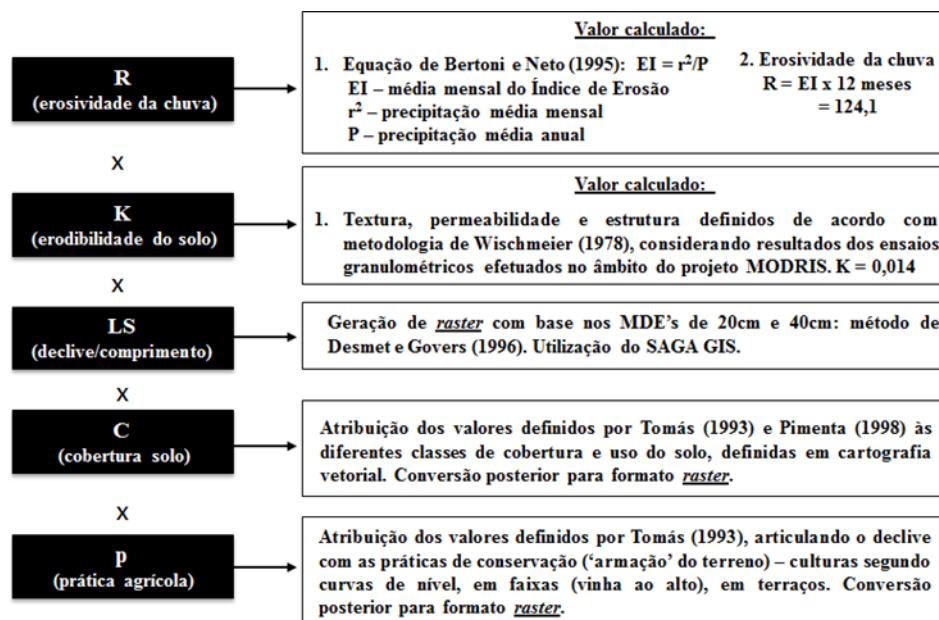


Figura 24 Procedimentos utilizados na definição dos parâmetros da *USLE*. Adaptado de Fernandes, 2014.

Note-se que no caso de R e K foram utilizados valores, enquanto os outros parâmetros foram representados por mapas em formato *raster*. O fator topográfico (LS) foi calculado no *software SAGA GIS 2.1.2* (figura 25), dada a menor complexidade dos cálculos e pelo fato de incorporar vários métodos, optando-se pelo de Desmet e Govers (1996) uma vez que Fernandes (2014) chegou à conclusão ser o que produz melhores resultados no cálculo da *USLE* para a área em estudo.

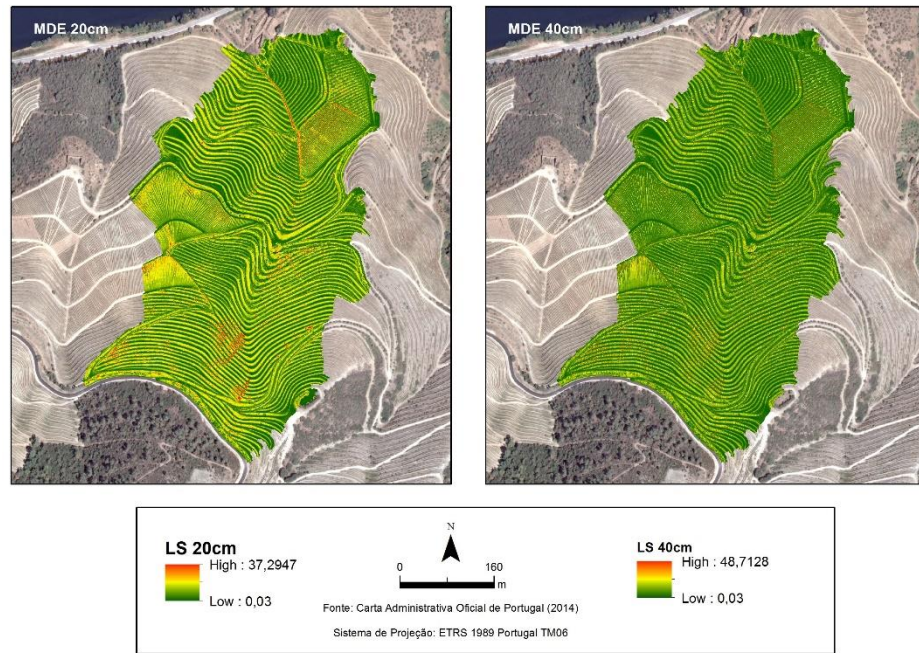


Figura 25 Mapa da topografia (Fator LS) segundo os MDE 20cm e 40cm.

O fator cobertura do solo (FC), que traduz o efeito do seu uso sobre a erosão, foi concebido atribuindo os valores definidos por Tomás (1993) Pimenta (1998) às classes de uso existentes na bacia em estudo (quadro 2), tendo por base o mapa apresentado na fig. (mapa de uso do solo do cap.2, figura 19) posteriormente convertido para formato *raster* com base na coluna da tabela de atributos onde foram expressos os valores pré-definidos (fig.26).

Quadro 2 Valores do fator C. Extraído de Fernandes, 2015.

Tipo de cobertura e uso do solo	Factor C
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	0,30
Culturas temporárias de regadio	0,20
Culturas temporárias de sequeiro	0,30
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,05
Florestas abertas - cortes e novas plantações	0,10
Florestas de resinosas	0,05
Florestas mistas	0,05
Matos	0,02
Pastagens permanentes	0,02
Pomares	0,05
Sistemas culturais e parcelares complexos	0,20
Tecido urbano descontínuo	0,01
Vegetação esparsa	0,05
Vegetação herbácea natural	0,02
Vinhas	0,20

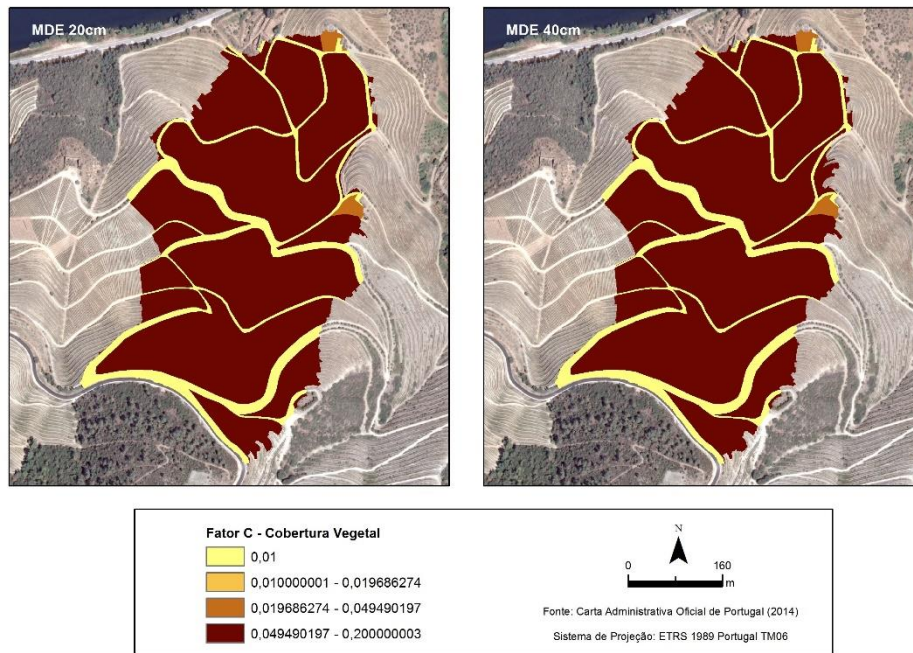


Figura 26 Mapa da cobertura do solo (Fator C) considerando os limites da bacia calculados através dos MDE 20cm e 40cm.

O mapa relativo ao fator prática agrícola (FP) - que condiciona o escoamento superficial, o transporte de sedimentos (quantidade e dimensão) e, consequentemente, o desenvolvimento das feições erosivas – foi efetuado de maneira similar ao anterior, utilizando-se os valores apresentados no quadro 3. Como informação de base foi necessário gerar o mapa de declives (*3D Analyst Tools – Raster Surface – Slope*), reclassificado em função dos valores pré-definidos e considerando o sistema de armação do terreno (fig. 27).

Quadro 3 Valores do fator P. Extraído de Meneses, 2011.

Declive da superfície (%)	Prática de conservação		
	Cultura ao longo das curvas de nível	Cultura em faixas	Cultura em terraços
0 - 1	0,00	0,00	0,00
2 - 7	0,50	0,25	0,10
8 - 12	0,60	0,30	0,12
13 - 18	0,80	0,40	0,16
19 - 24	0,90	0,45	0,18
≥25	1,00	0,50	0,21

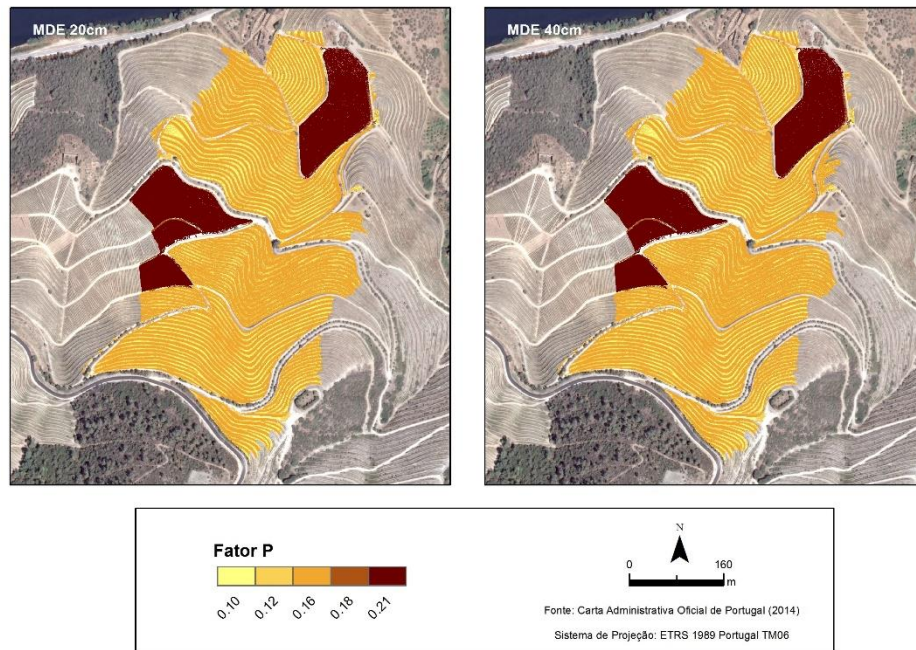


Figura 27 Mapa da prática agrícola (Fator P) segundo os MDE 20cm e 40cm

Na sequência destes procedimentos aplicamos a equação da *USLE* (*Raster Calculator*), verificando-se que os resultados obtidos eram pouco coincidentes com a distribuição espacial das feições erosivas inventariadas (fig. 28). Neste contexto, somos levados a pensar que este modelo não se adequa aos nossos objetivos, podendo ser referidos vários aspetos.

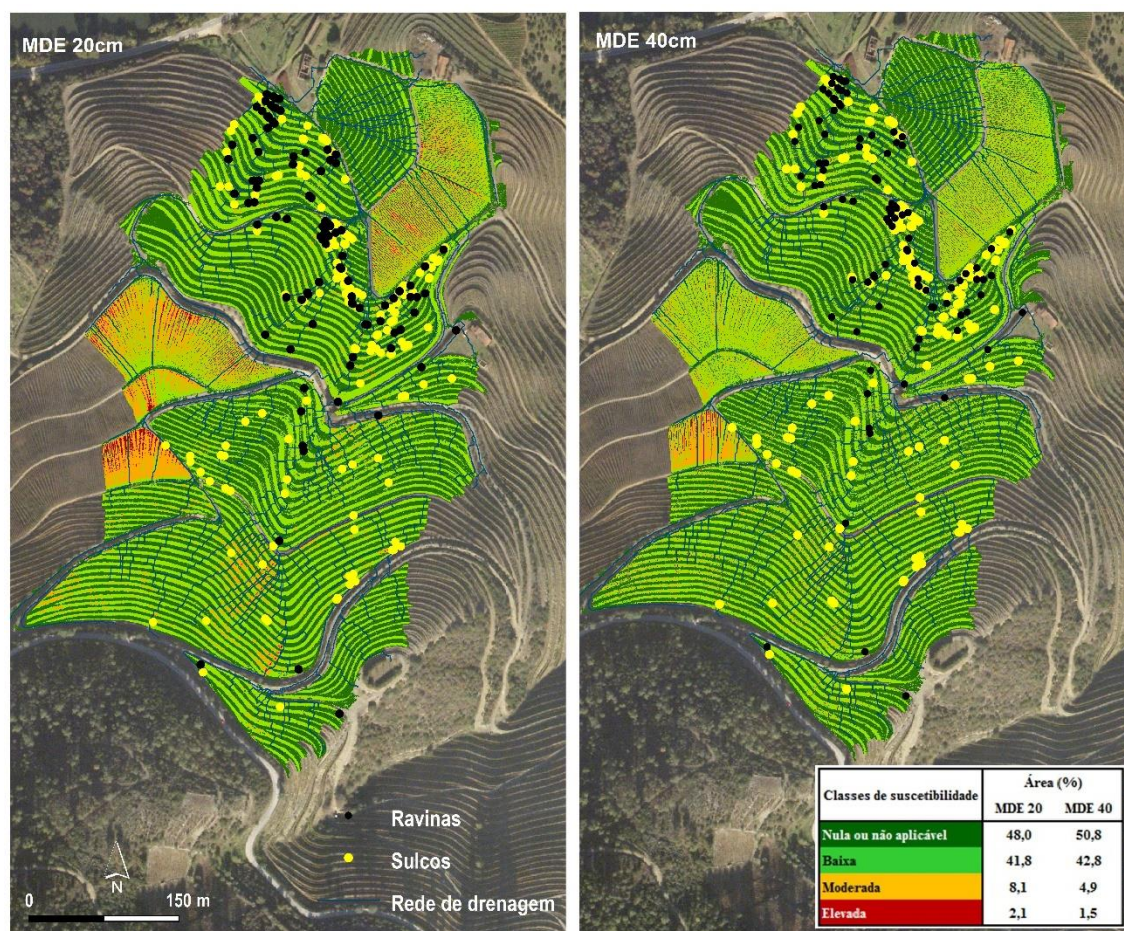


Figura 28 Resultados da aplicação da USLE.

Em primeiro lugar, podemos salientar algumas questões metodológicas, designadamente o facto dos fatores R e K serem inseridos na equação como dados numéricos sem variação espacial. Como tal, apenas se refletem ao nível dos valores dos pixéis que representam a maior ou menor suscetibilidade à erosão, pelo que os resultados vão expressar o efeito dos parâmetros com variabilidade espacial (*rasters* de LS, FC e FP). E este aspeto pode ser comprovado se comparamos as figuras nº 25, 26 e 27 (modelos e fatores). Não sendo nosso objetivo quantificar a erosão mas sim avaliar como se distribui espacialmente, não faz muito sentido inserir, desta forma, os parâmetros R e K.

Por outro lado, não existindo dados de precipitação tão detalhados, poderíamos sempre recorrer a processos de interpolação, com base na informação de algumas estações meteorológicas da área envolvente, para criar um mapa do fator R. No entanto, das estações meteorológicas existentes, algumas instaladas em quintas, grande parte não possui séries com um número de anos suficiente e os dados apresentam lacunas, mas também não nos parece, pela escala de análise que estamos a utilizar, que se verificassem variações significativas na bacia hidrográfica em estudo.

Relativamente ao fator K, já referimos que os dados disponíveis para o seu cálculo correspondem a ensaios laboratoriais (granulometria) e *in situ* (capacidade de infiltração, condutividade hidráulica e resistividade elétrica) efetuados na quinta em estudo no âmbito do projeto MODRIS (fig. 29). No entanto, embora esta informação permita uma caracterização geral da erodibilidade dos materiais ela não pode ser generalizada à bacia em estudo (apesar dos ensaios terem sido realizados numa área próxima da nossa), principalmente considerando a nossa escala de trabalho. Por outro lado, note-se que os resultados obtidos apresentam algumas diferenças importantes, o que reafirma um aspeto focado no primeiro capítulo (1.4) deste trabalho, relativamente às variações locais da textura e pedregosidade superficial (controlando esta o padrão do escoamento superficial) e a forma como influenciam a erosão.

Considerando estes aspetos, pensamos que a *USLE*, na sua formulação ‘tradicional’, não é o modelo mais adequado aos nossos objetivos. Note-se, por exemplo, que os resultados obtidos destacam como áreas de maior suscetibilidade à erosão os sectores da bacia com vinha ao alto, o que não se coaduna com o nosso inventário nem com a maior parte dos estudos anteriormente focados.

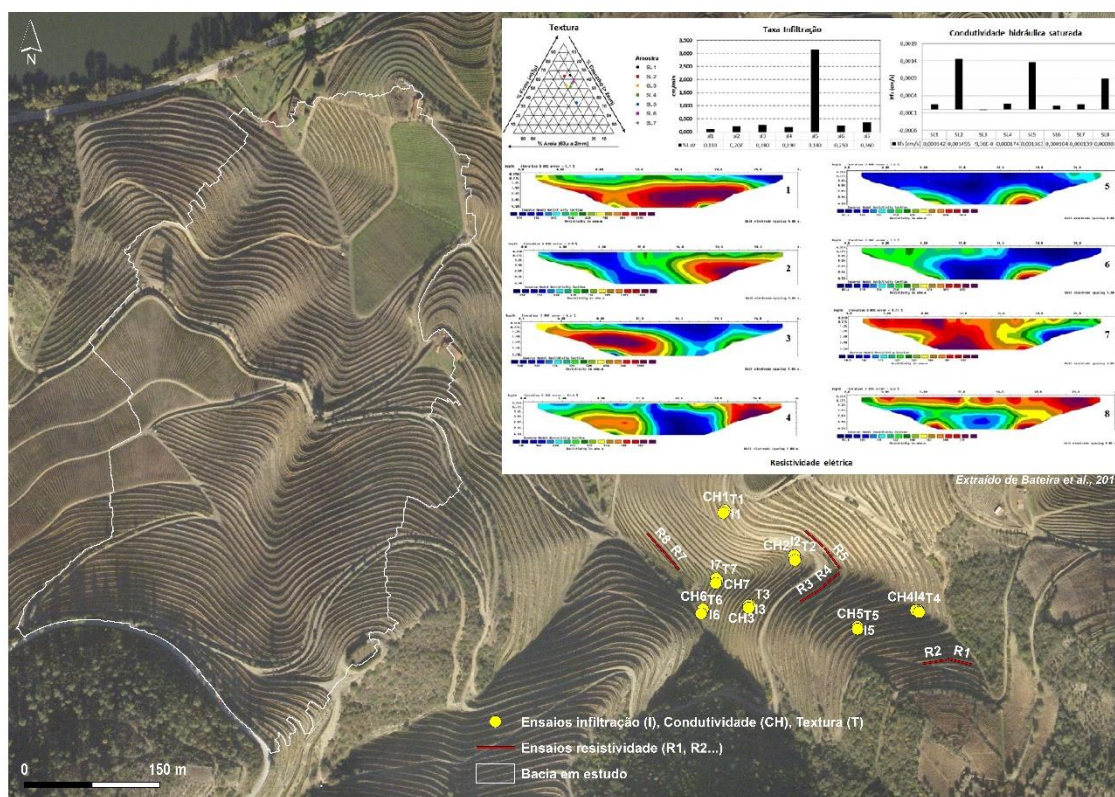


Figura 29 Localização e resultados dos ensaios *in situ* elaborados no âmbito do projeto MODRIS

Neste contexto, resolvemos fazer apenas mais uma experiência: introduzir na fórmula da *USLE* o fator drenagem, representado pelo *flow accumulation*, retirando o *K* mas mantendo o *LS*, *FC* e *FP* e removendo o fator *R*.

O *flow accumulation* (fig. 31), parâmetro que indica (...) o grau de confluência do escoamento [permitindo observar] a formação dos caminhos preferenciais de fluxo (Oliveira *et al.*, 2010, p. 51), foi determinado com base nos *MDE*'s (modelo 20 e 40cm) de acordo com os seguintes passos²⁷ (fig. 30):

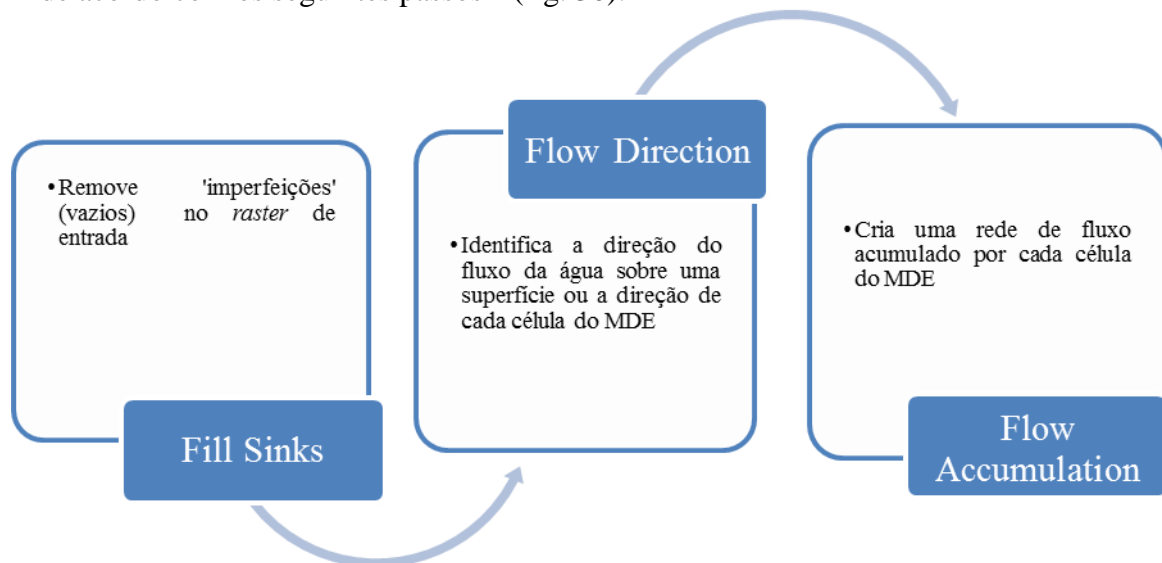


Figura 30 Sequencia do cálculo do *flow accumulation*.

²⁷ . Ferramentas disponíveis no ArcGis: *Spatial Analyst Tools – Hydrology*.

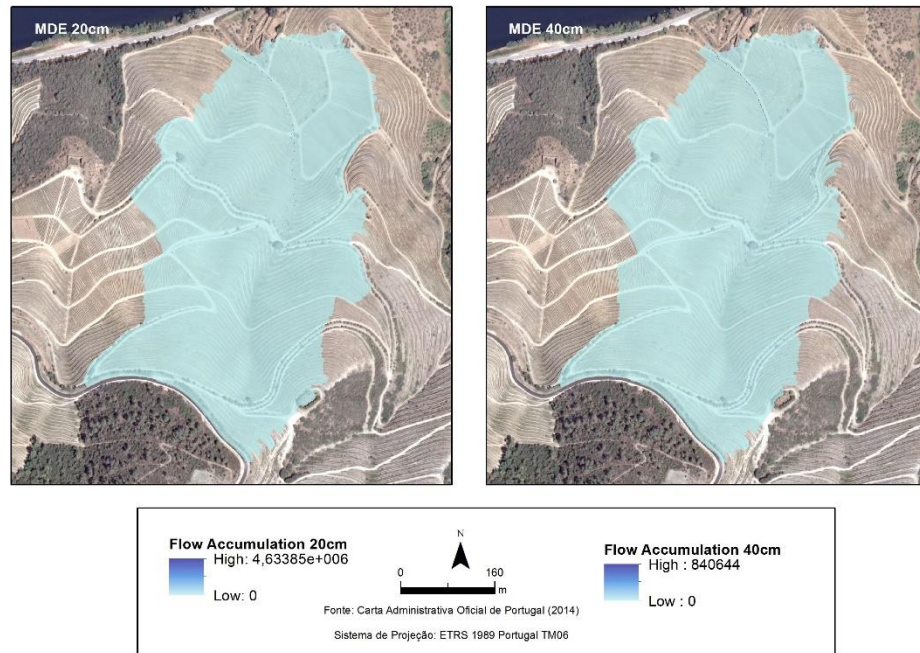


Figura 31 Mapa do flow accumulation segundo os MDE 20cm e 40cm.

Os resultados são obviamente distintos dos anteriores: aumentou sobretudo a área de suscetibilidade baixa (que assume agora a maior percentagem); a vinha ao alto não surge tão marcada; nota-se que as feições se concentram nos taludes; há uma certa relação com a rede de drenagem, sobretudo no caso das ravinas.

Na sequência das tentativas anteriores, decidimos experimentar a Regressão Logística como modelo preditivo da suscetibilidade à erosão, considerando que a inclusão das feições erosivas (variável dependente) poderia originar um modelo mais adaptado à realidade. Como variáveis independentes, correspondentes aos fatores condicionantes da erosão, foram consideradas as variáveis anteriores (*flow*, *accumulation*, LS, FC e FP), a que associamos a curvatura, exposição de vertentes, altura dos taludes e o Índice Topográfico de Humidade (ver fig. 32).

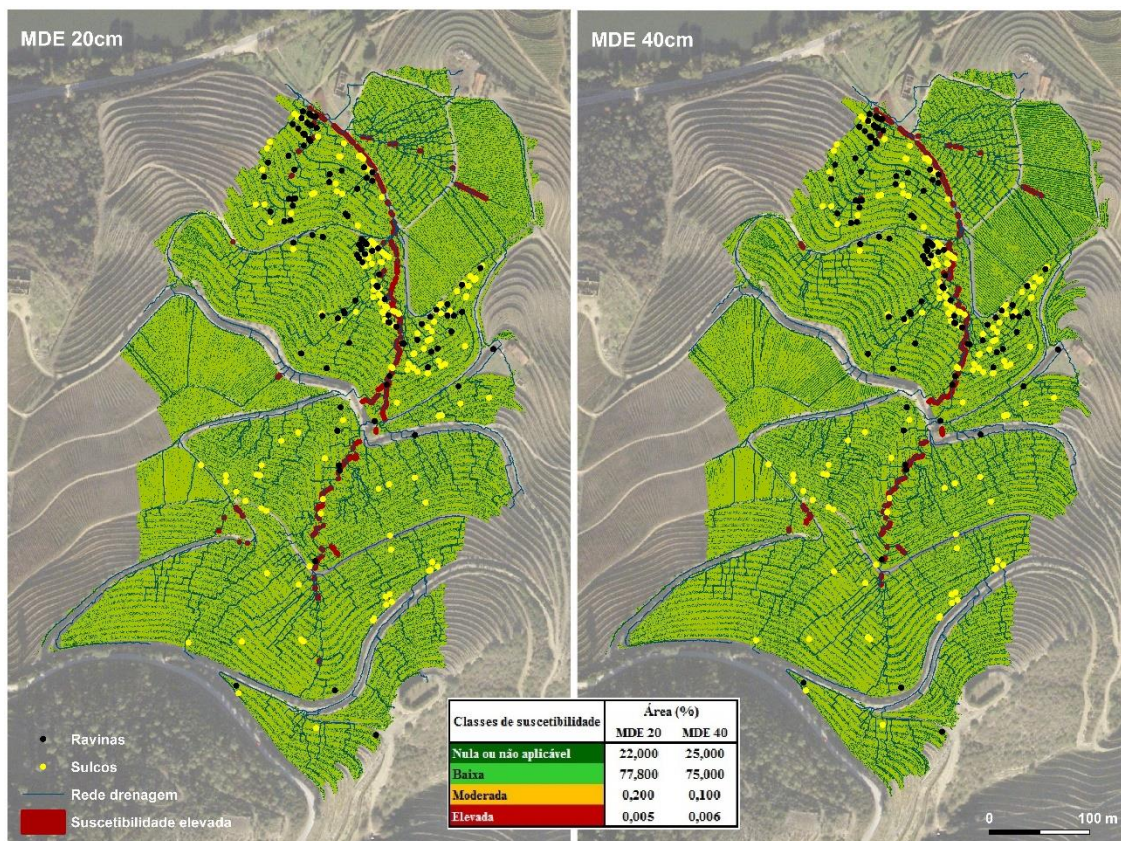


Figura 32 Resultados da aplicação da fórmula da USLE, utilizando as variáveis *flow accumulation* (em substituição do R), LS, FC e FP.

A curvatura e exposição, foram automaticamente geradas no *ArcGIS (3D Analyst Tools – Raster Surface – Curvature/Aspect)* a partir dos dos *MDE's* de base. A curvatura (fig.33) tem como função detalhar a morfologia das vertentes (que vai condicionar o escoamento), procedendo-se a uma reclassificação do *raster* obtido em 3 classes: áreas convexas (-1), retilíneas (0) e côncavas (1). A exposição de vertentes (fig.34), que se

reflete sobre o teor de humidade dos solos, implica igualmente uma reclassificação posterior, de forma a uniformizar as orientações.

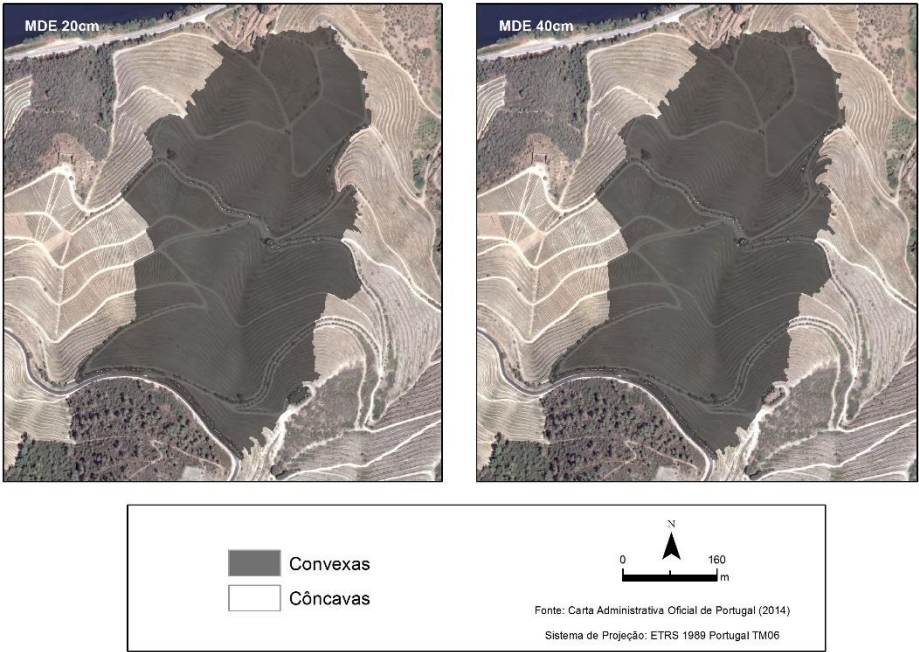


Figura 33 Mapa da Curvatura segundo os MDE 20cm e 40cm.

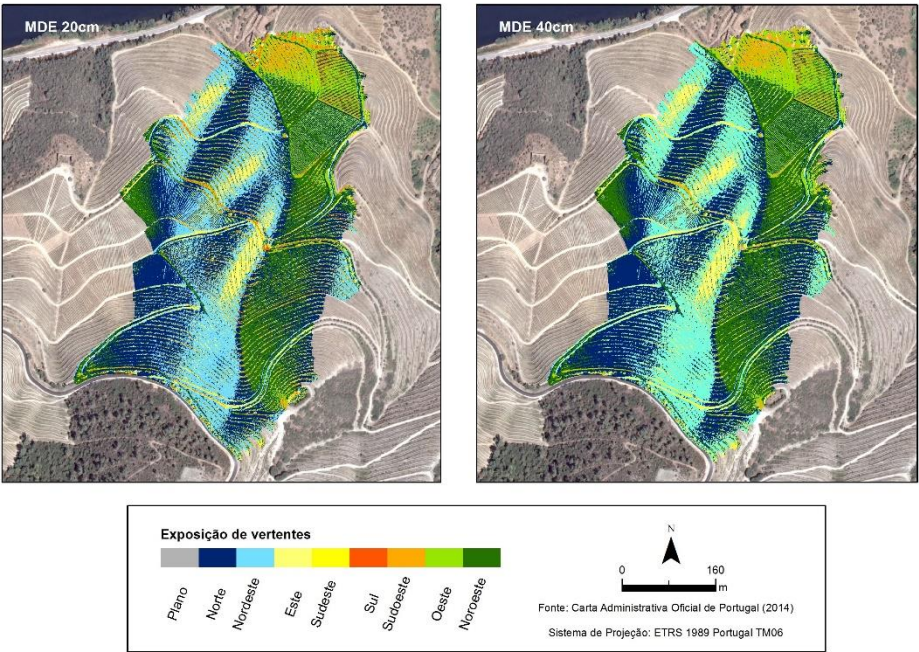


Figura 34 Mapa da Exposição segundo os MDE 20cm e 40cm.

A obtenção da altura dos taludes implica uma sequência de cálculos (fig.35) para chegar ao modelo final (fig. 36), implicando a utilização da extensão TAUDem, (...) *a suite of Digital Elevation Model (DEM) tools for the extraction and analysis of hydrologic information from topography as represented by a DEM* ²⁸. Cumpridos os cálculos focados, o mapa obtido representa o valor do talude pela média (*average*).

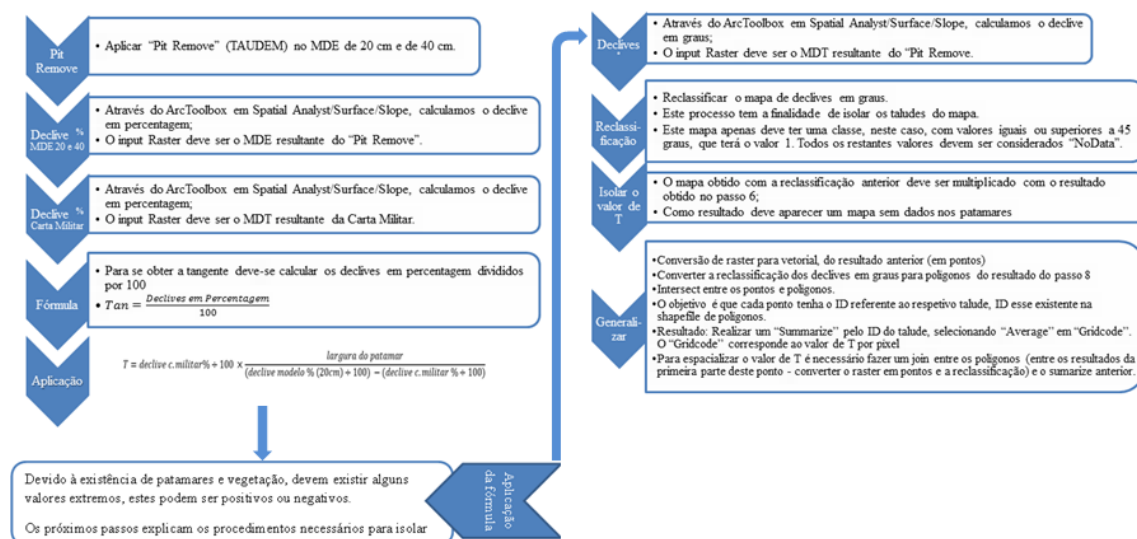


Figura 35 Procedimentos de cálculo do raster relativo à Altura dos Taludes. Extraído de Costa, 2016.

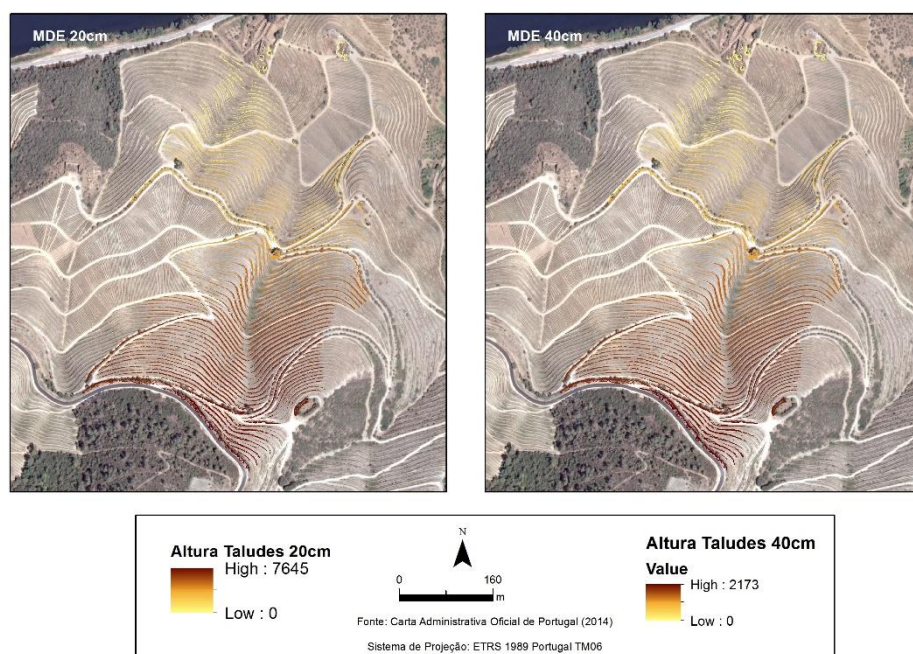


Figura 36 Mapa da altura da base dos taludes segundo os MDE 20cm e 40cm.

²⁸ . Extraído de <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/index.html>. Acesso 02-07-2016.

Por fim foi gerado o *raster* que representa o Índice Topográfico de Humidade (fig.37), que, segundo Bergonse (2014, p.89) *assenta na noção de um balanço, em que a área de drenagem total é um indicador da tendência para acumular água, e o declive local e o comprimento das curvas de nível (implícito na área de drenagem específica) descrevem a tendência para a evacuar*. Este resulta na aplicação da fórmula:

$$\ln \frac{A}{\tan[\beta]}$$

Em que:

- \ln corresponde a 2,7118...(número de Euler);
- A , é a área da bacia;
- β , representa o declive.

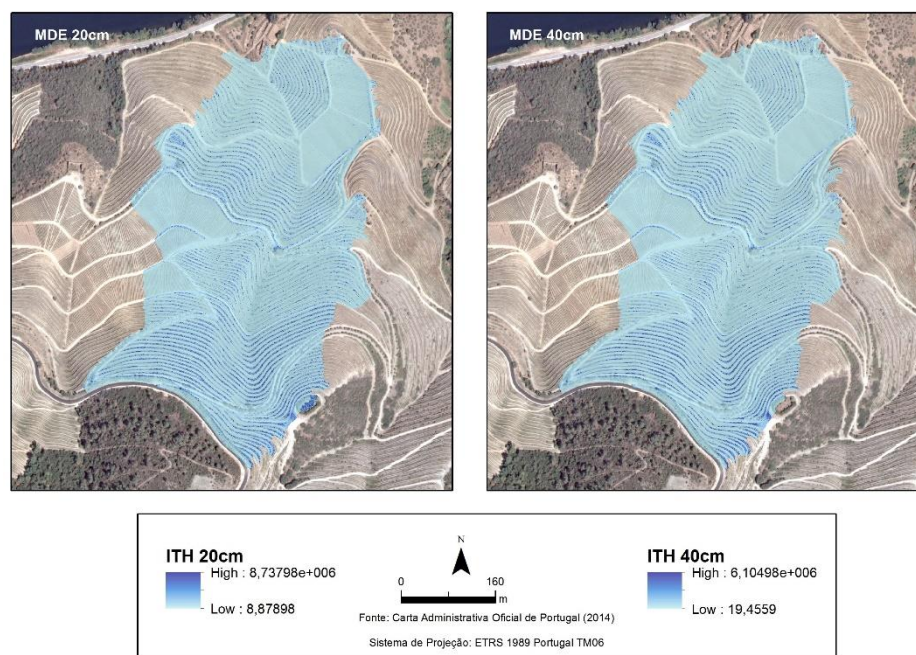


Figura 37 Mapa do índice topográfico de humidade segundo os MDE 20cm e 40cm.

De acordo com os procedimentos associados à Regressão Logística, que foi aplicada separadamente para ravinas e sulcos e tendo como base os *MDE's* de 20cm e 40cm, é necessário criar uma série de pontos aleatórios habitualmente designados por 'não pontos', que permitem caracterizar globalmente o território em estudo (Costa, 2009). Este procedimento foi efetuado no *ArcGIS* (*Data Management Tools - Feature Class - Create Random Points*), sendo o seu número definido em função do número de pontos de cada feição, considerando-se que deve corresponder pelo menos ao dobro. Na sequência,

são extraídos para cada um destes ‘não pontos’ (*Spatial Analyst Tools – Extraction – Sample*) os respetivos valores das variáveis consideradas, o que vai permitir, em associação com os ‘pontos’ (sulcos e ravinas inventariados), avaliar a significância estatística dessas variáveis e definir a equação de base do modelo preditivo de erosão.

Ambos os procedimentos exigem a organização de toda a informação numa tabela *Excel*, atribuindo-se um código binário em que (1) corresponde aos pontos originais e o (0) aos ‘não pontos’, tabela que é posteriormente manipulada em *SPSS*.

Para avaliar a significância estatística de cada variável, foram aplicados os testes não paramétricos de Kolmogorov-Smirnov²⁹ e o de Mann-Whitney (teste U), ambos para amostras independentes, que nos indicam qual o nível de significância (*p-value*) de cada variável e se se deve rejeitar ou reter a hipótese nula. Ou seja, os testes são transpostos tendo em conta um *p-value* de 0.05 (para este caso) e a partir deste valor define-se quando rejeitamos ou retemos a hipótese nula, neste último caso expressando a não significância da variável uma vez que a distribuição dos ‘pontos e não pontos’ é igual. Considerando os resultados obtidos (anexo 2), verifica-se que há diferenças nas variáveis significantes para sulcos e ravinas e consoante o *MDE* considerado, assim como os dois testes nem sempre têm correspondência (quadro 4).

Quadro 4 Resultados dos testes de significância estatística.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes			
	Sulcos R20	Sulcos R40	Ravinas R20	Ravinas R40
ITH				
TAL		Mann-Whitney		
FLOWACC		Kolmogorov-Smirnov		
LS	Mann-Whitney		Mann-Whitney	
FC	Mann-Whitney	Mann-Whitney	Mann-Whitney	Mann-Whitney
FP	Mann-Whitney		Mann-Whitney	
CURV	Mann-Whitney	Kolmogorov-Smirnov		
EXPO				

Significante nos 2 testes

Significante em 1 dos testes

Não significativa

²⁹ . O teste de Kolmogorov-Smirnov é definido como *um (...) non-parametric statistical test used to determine whether two frequency (probability) distributions differ from each other*, enquanto o de Mann-Whitney é utilizado *(...) to determine whether ordinal- or higher-scale data are drawn from a single population* (Conolly e Lake, 2006 p.302-303). Em ambos os testes a hipótese nula considera que a distribuição a partir de ambos os grupos é a mesma.

Neste contexto decidimos aplicar a Regressão Logística considerando 3 cenários principais em função das variáveis consideradas – (1) todas as variáveis; exclusão das não significantes (2); variáveis significantes para os dois métodos estatísticos (3) – avaliando-se a distribuição espacial da suscetibilidade à erosão considerando os sulcos e as ravinas e utilizando os rasters obtidos com base nos MDE's de 20 e 40cm, de acordo com as ponderações estabelecidas na equação de regressão. Este procedimento foi efetuado com base nas mesmas tabelas geradas anteriormente, mas utilizando-se o software XLSTAT. Os resultados obtidos para cada cenário estão representados no anexo 3 e serão discutidos no próximo capítulo.

Capítulo IV – Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Caraterísticas dos sulcos e ravinas da área em estudo

Embora as diferenças entre os parâmetros geométricos dos sulcos e ravinas inventariadas não possam ser consideradas muito significativas, em termos médios são evidentes os maiores valores das últimas ao nível de todos os parâmetros (quadro 5 e figs. 38 e 39). No entanto, é importante destacar que em relação ao comprimento as diferenças se esbatem (o que é particularmente visível na sua representação gráfica), uma vez que o seu desenvolvimento é condicionado pela altura dos taludes.

Dos parâmetros considerados o volume erodido é talvez o mais importante, sendo substancial a diferença entre as feições, com um volume total de 22 m³ para os sulcos e 160 m³ no caso das ravinas. Esta variação está de acordo com os princípios teóricos, uma vez que as ravinas assumem maior dimensão e exercem maior impacto sobre o solo, considerando que face aos episódios chuvosos o escoamento tende a concentrar-se nesses canais, que vão evoluindo progressivamente e através dos quais se acentua o transporte de sedimentos. Assim, é de esperar que as perdas de solo promovidas pelas ravinas seja tendencialmente maior do que nos sulcos.

Quadro 5 Parâmetros geométricos de sulcos e ravinas.

SULCOS	Largura (L) m	Comprimento (C) m	Profundidade (P) m	Área (L*C) m ²	Secção (S) - (L*P) m ²	Volume erodido - (S*C) m ³
Mínimo	0,07	0,65	0,01	0,11	0,0010	0,002
Máximo	1,50	6,10	0,29	3,33	0,2250	22,00
Média	0,32	2,44	0,14	0,78	0,0518	0,25
Moda	0,30	3,00	0,20	0,33	0,0750	0,08
Desvio-padrão	0,19	1,02	0,07	0,62	0,0446	1,65
Total						22,00
RAVINAS	Largura (L) m	Comprimento (C) m	Profundidade (P) m	Área (L*C) m ²	Secção (S) - (L*P) m ²	Volume erodido - (S*C) m ³
Mínimo	0,27	1,50	0,20	0,41	0,0540	0,08
Máximo	2,30	10,00	1,50	23,00	3,4500	34,50
Média	0,86	3,27	0,45	2,80	0,3845	1,26
Moda	0,70	3,00	0,30	2,10	0,2100	0,63
Desvio-padrão	0,49	1,03	0,21	0,51	0,1055	0,11
Total						160,07

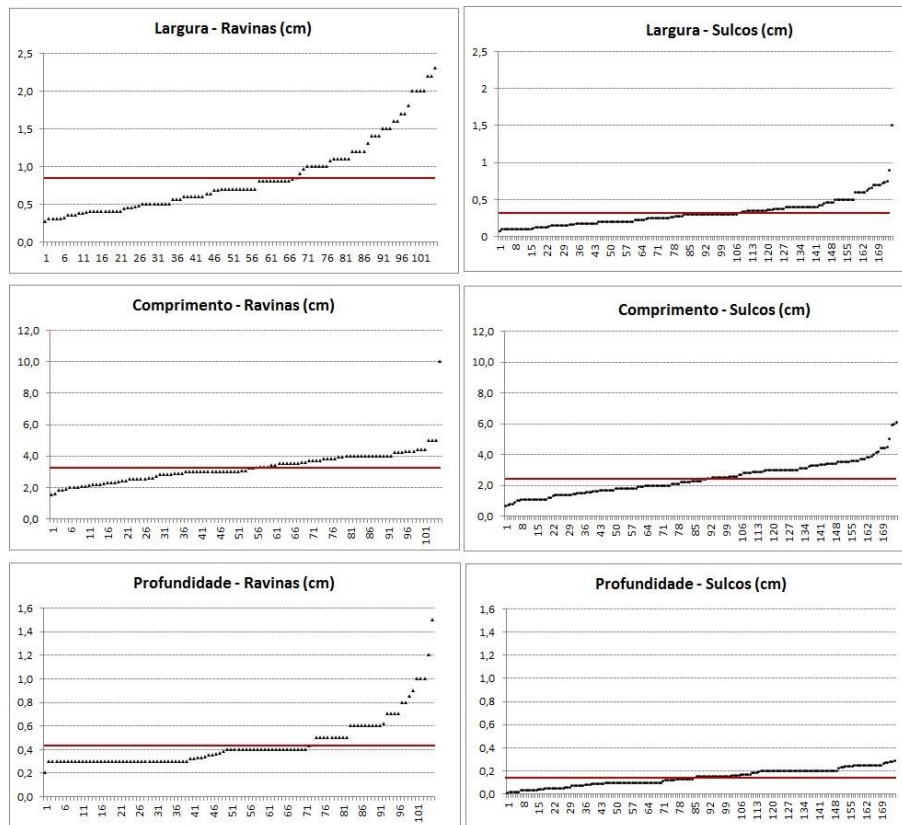


Figura 38 Comparação dos valores de largura, comprimento e profundidade dos sulcos e ravinas da área em estudo. A linha vermelha representa o valor médio.

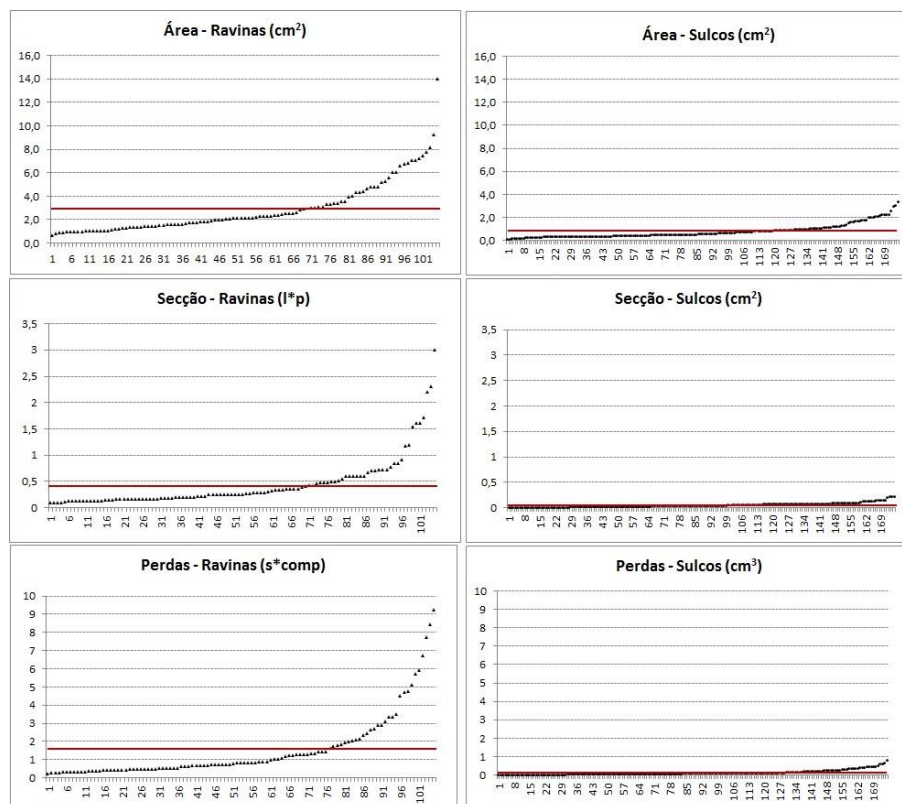


Figura 39 Comparação dos valores da área, secção e perdas dos sulcos e ravinas da área em estudo. A linha vermelha representa o valor médio.

E este aspeto é igualmente ilustrado pela correlação entre alguns dos parâmetros geométricos de sulcos e ravinas. Por exemplo é clara a relação direta existente entre a área e secção das feições e o volume erodido, sempre com valores mais elevados no caso das ravinas (fig. 40).

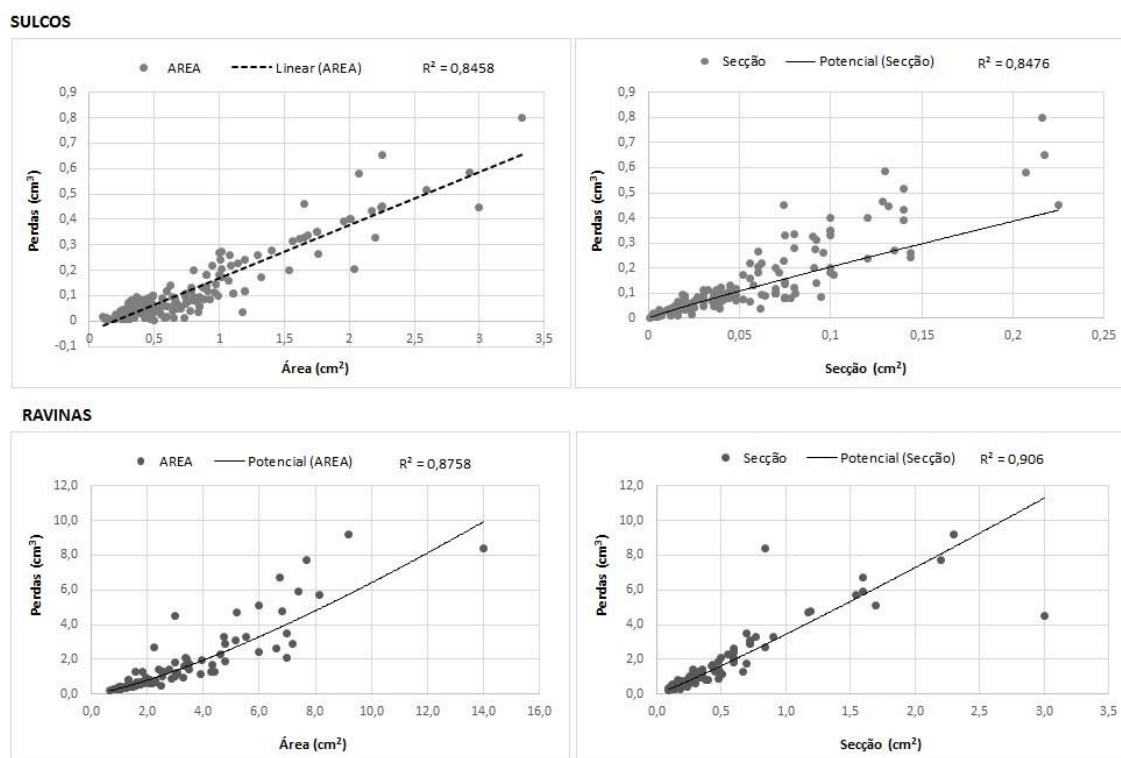


Figura 40 Relação entre parâmetros geométricos de sulcos e ravinas.

De qualquer modo as feições inventariadas são globalmente de dimensões reduzidas, assim como, considerando o seu número e distribuição espacial, podemos considerar que na área em estudo a suscetibilidade à erosão hídrica não assume um quadro gravoso.

Neste contexto, um aspeto que desde logo se destaca é a ausência de sulcos e ravinas na área de vinha ao alto, o que vai de encontro ao que vem sendo referido por alguns autores, tal como expresso no ponto 1.4. Este aspeto relaciona-se com as ‘boas práticas’ que na atualidade são assumidas na generalidade das quintas da RDD, em que se destaca o enrelvamento (natural ou semeado) da área entre as fiadas de vinha. Mas esta prática de proteção e conservação dos solos estende-se igualmente aos taludes de terra, pelo que a erosão tende realmente a ser limitada³⁰.

³⁰. A cobertura vegetal dos terrenos é o fator decisivo que permite contrariar a perda potencial de solo por erosão face às condições naturais de relevo, clima e solo. A vegetação interceta a trajetória das gotas de

Outro aspeto importante, que se coaduna com alguma da bibliografia consultada, é a sua forma de distribuição no terreno: efetivamente, os sulcos tendem a assumir um padrão mais uniforme e aleatório ocorrendo sobretudo em sectores convexos das vertentes, enquanto as ravinas tendem a concentrar-se ao longo das linhas de drenagem ou seja, nas áreas de confluência de duas vertentes (talvegues)³¹.

Algumas respostas a estas questões, podem em parte ser ilustradas através da relação entre as feições erosivas e os fatores que condicionam a sua formação e desenvolvimento. Foi precisamente o que tentamos fazer através da extração dos valores, para cada sulco e ravina, dos *rasters* de cada variável (cf. capítulo anterior, 3.4), dados que também estão representados nas tabelas do anexo 1, mas que sintetizamos no quadro 6. No entanto, é importante referir que nem sempre se observa uma relação direta ou indireta entre as variáveis e as feições. Por outro lado, também nem sempre é evidente quer a diferença entre sulcos e ravinas, quer entre os valores extraídos dos modelos de 20cm e 40 cm.

chuva, reduzindo drasticamente a energia de impacto na superfície do terreno e armazenando temporariamente a precipitação, cujo fluxo em direção ao solo é deste modo muito diferido. Estes efeitos são tanto mais notórios quanto maior a fração de cobertura da superfície do solo proporcionada pela parte aérea das plantas, seja pela dimensão do copado seja pela sua densidade, e pelo porte, sendo os cobertos rasteiros e densos muito eficazes neste mecanismo de interceção (Figueiredo, 2015, p.35). Assim, (...) *é da maior importância, e na verdade é a solução mais económica, garantir uma boa eficácia da cobertura do solo nas entrelinhas e taludes com vista a controlar escoamento e perda de solo* (op.cit., p.50)

³¹ . (...) *ephemeral gullies are formed in the thalweg, which constitutes the confluence of two opposing slopes, a fact which conditions the trajectory of the runoff. Rills, however, occur entirely on one single slope* (Casalí et al., 1999); *their formation is, therefore, mainly subject to the high spatial variability of intrinsic factors of the soil (structural stability, hydraulic conductivity, etc.) and of its tillage* (Casalí, Giménez e Campo-Bescós, 2015, p.509)

Quadro 6 Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão dos parâmetros condicionantes de sulcos e ravinas.

SULCOS	Altitude (R=20cm)	Altitude (R=40cm)	Declive (R=20cm)	Declive (R=40cm)	Flowacc (R=20cm)	Flowacc (R=40cm)	ITH (R=20cm)	ITH (R=40cm)	LS (R=20cm)	LS (R=40cm)	FC	FP
Mínimo	86,81	86,67	6,04	4,52	0,00	0,00	269,13	309,79	0,48	0,57	0,01	0,12
Máximo	298,71	298,65	42,56	46,48	134529,00	3035,00	7101,78	9505,95	13,30	13,57	0,20	0,21
Média	156,77	157,14	23,32	28,06	926,24	76,60	1130,79	931,35	3,02	2,67		
Desvio-padrão	48,18	48,46	6,28	8,03	10169,82	364,62	799,30	861,81	1,65	1,76		

RAVINAS	Altitude (R=20cm)	Altitude (R=40cm)	Declive (R=20cm)	Declive (R=40cm)	Flowacc (R=20cm)	Flowacc (R=40cm)	ITH (R=20cm)	ITH (R=40cm)	LS (R=20cm)	LS (R=40cm)	FC	FP
Mínimo	86,40	86,28	2,57	5,46	0,00	0,00	389,00	402,75	0,24	0,30	0,01	0,12
Máximo	297,16	296,92	50,66	47,08	313930,00	60384,00	9245,54	5362,78	12,96	15,31	0,20	0,21
Média	133,98	133,91	23,09	25,83	3223,52	843,74	1109,04	879,78	3,02	2,91		
Desvio-padrão	37,55	37,52	8,23	8,22	30495,99	6173,70	1158,38	618,18	2,05	2,36		

Uns dos aspetos que devemos mencionar desde já, é que não representamos aqui nem os dados da curvatura nem da exposição, porque fazem mais sentido quando expressos por terminologia não numérica. Relativamente à curvatura, só poderíamos ter uma informação clara utilizando como base um *raster* de menor resolução, uma vez que os *MDE*'s de 20 e 40cm vão refletir variações microtopográficas que não permitem uma leitura geral, assim como não podemos ignorar a provável influência da vegetação (apesar das correções efetuadas). Por exemplo, na área de vinha ao alto, os sectores convexos correspondem no essencial às entrelinhas (enrelvadas), enquanto os côncavos decalcam a fileira de vinha. Por outro lado, se a informação derivada destes *rasters* de detalhe ‘revela’ um maior número de feições em setores côncavos, tal não poderá refletir a própria deformação do terreno associada aos sulcos e ravinas?

Relativamente à exposição, ela é condicionada pelo próprio enquadramento da bacia (vertente umbria), pelo que ambas as feições se situam predominantemente norte, nordeste e noroeste (fig. 41).

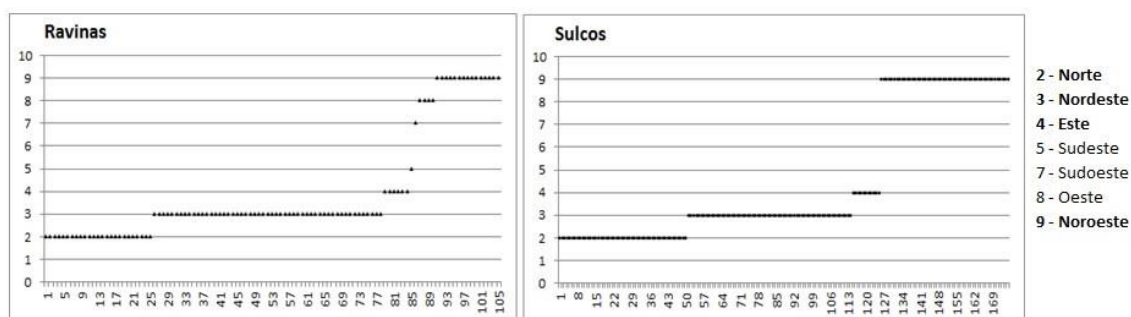


Figura 41Exposição de ravinas e sulcos.

Ainda em relação aos dados expressos no quadro 6, podemos destacar, devido aos elevados valores do desvio padrão, as variáveis *flow accumulation* e índice topográfico de humidade (ITH). Relativamente à primeira, é clara a discrepância do valor médio entre sulcos e ravinas e entre os *MDE*'s, sendo sempre superior no caso das ravinas (como seria de esperar). O mesmo acontece em relação ao ITH, embora neste caso o valor médio seja superior nos sulcos.

Um aspeto que vem comprovar o que atrás já dissemos sobre a influência, é a própria geometria dos socacos que exerce sobre as feições erosivas, são os valores do declive e do parâmetro LS: note-se que os valores médios de ambas as variáveis são similares para os sulcos e ravinas e não muito diferentes quando comparamos os resultados em função do *MDE* usado. Mas também não podemos ignorar que o critério que seguimos na determinação das coordenadas das feições (na área de cabeceiras) também condiciona estes valores.

Tentando estabelecer correlações entre a geometria dos sulcos e as diferentes variáveis, verificamos que em nenhum dos casos existe uma relação significativa, o que em parte vem corroborar o que focamos no capítulo anterior, quando procedemos aos testes de Kolmogorov-Smirnov e o de Mann-Whitney. Veja-se por exemplo, o caso da relação entre o volume de perdas com o LS e o ITH (figs. 42 e 43).

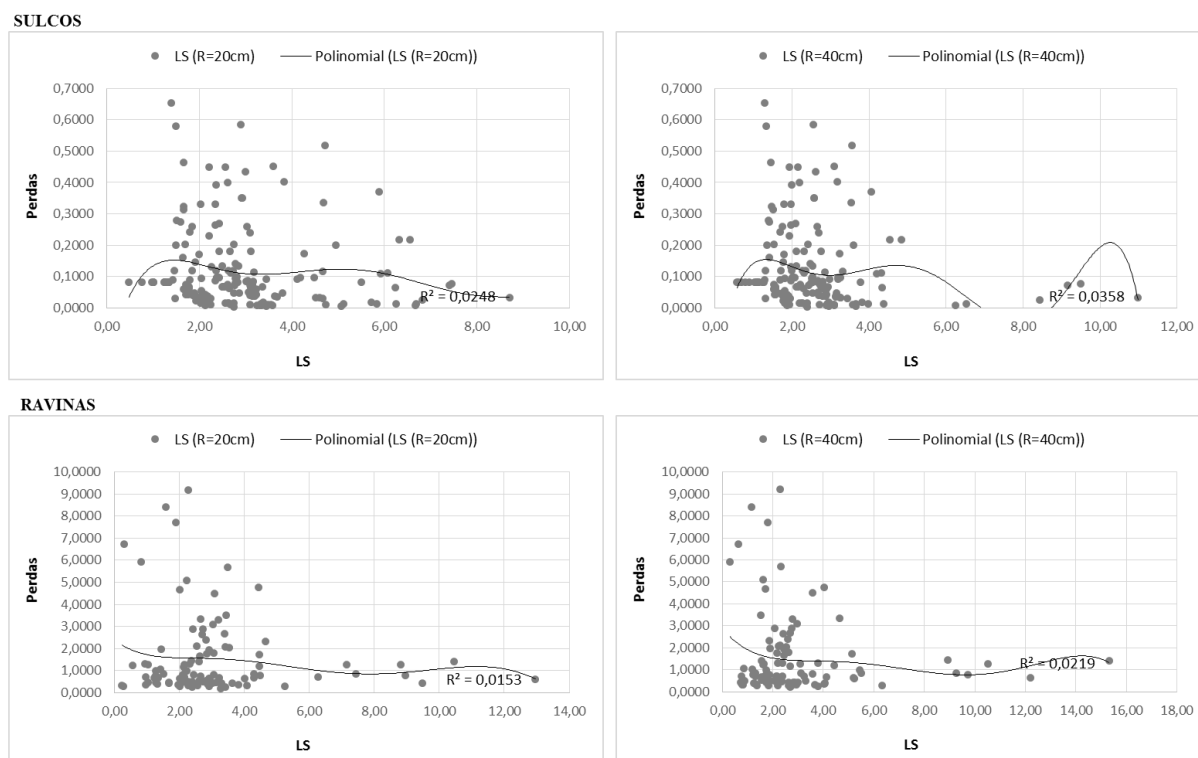


Figura 42 Comparação entre o volume (perdas) de sulcos e ravinas com o parâmetro LS extraído dos *MDE*'s de 20 e 40cm.

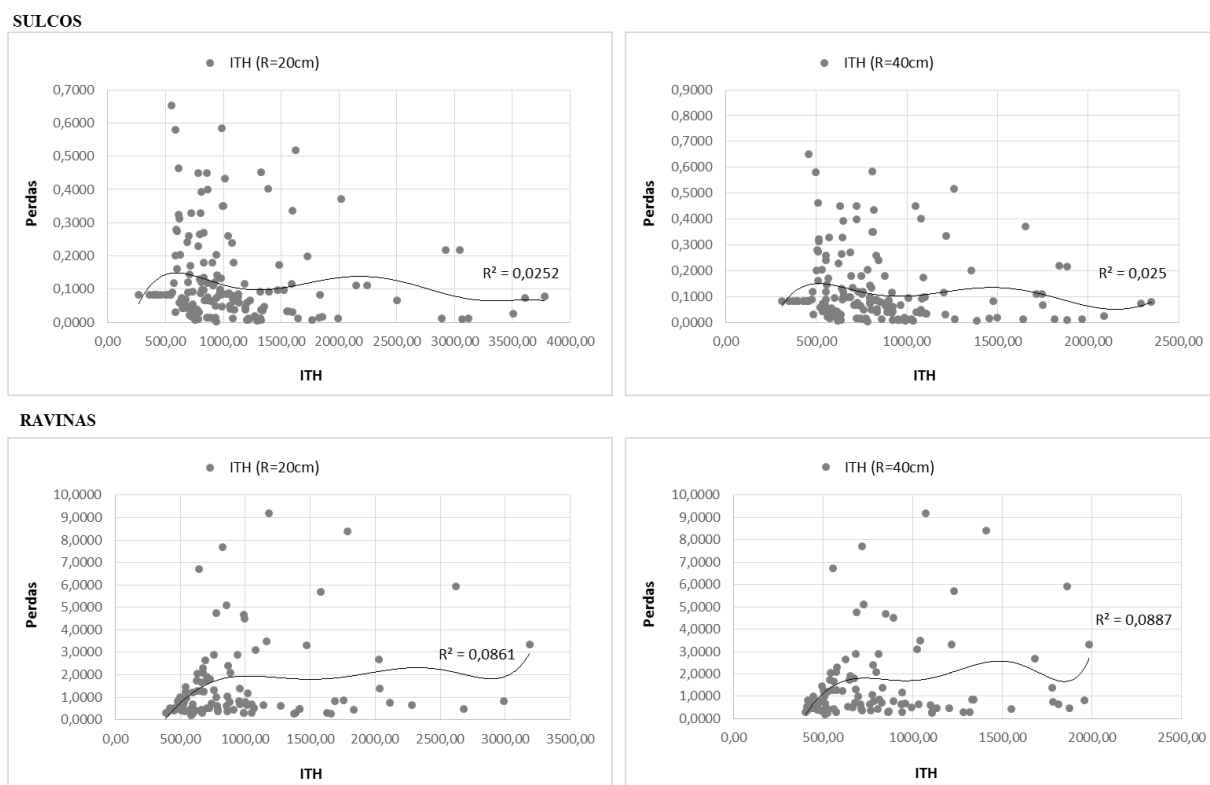


Figura 43 Comparação entre o volume (perdas) de sulcos e ravinas com o parâmetro ITH extraído dos MDE's de 20 e 40cm.

Embora tenham sido testadas mais correlações, a verdade é que os valores de R^2 são sempre extremamente baixos. Não consideramos, assim, que seja relevante apresentá-los.

Os dados que aqui expressamos, remetem-nos para duas questões que, durante este trabalho, fomos percebendo: em primeiro lugar, a importância de ser levado a cabo um inventário mais exaustivo e detalhado, envolvendo medições da geometria de sulcos e ravinas em vários pontos do seu perfil; em segundo lugar, que a modelação da variabilidade espacial da suscetibilidade à erosão na RDD implica provavelmente a utilização de parâmetros que não podem ser derivados de *MDE's*, como é o caso da pedregosidade e da textura. A revisão da literatura acentua estes fatores, designadamente em relação ao primeiro:

A pedregosidade é em regra considerada à parte das propriedades descritas acima aquando da avaliação da erodibilidade dos solos, sendo muitas vezes ignorada nessa avaliação. Em regiões como o Douro, em que dominam os solos pedregosos, é um elemento que é forçoso considerar pelo seu importante efeito redutor da erodibilidade. Os elementos grosseiros protegem a superfície do impacto direto das gotas de chuva, geram elementos microtopográficos que favorecem a detenção superficial, limitando a formação de escoamento e reduzindo a sua velocidade, aumentando

genericamente a permeabilidade do perfil e portanto a drenagem interna no caso de solos de granulometria desfavorável (Figueiredo, 2015, p.32).

Por outro lado, a textura apresenta variações locais significativas, o que implicaria a recolha e análise de várias amostras no contexto da bacia em estudo. E a este fator associa-se um outro aspeto que não tivemos oportunidade de analisar, por falta de dados: o sistema de drenagem artificial. Mas deixamos estas reflexões para a conclusão do nosso trabalho.

Mas independentemente de todos os ‘problemas’ focados, consideramos que a metodologia da Regressão Logística (tal como explicada no capítulo anterior) talvez seja a mais indicada para tentar definir a variação espacial da suscetibilidade à erosão, pelo facto de incorporar as feições erosivas existentes no terreno.

4.2 Aplicação do modelo da Regressão Logística

Como referimos no capítulo anterior, aplicamos a Regressão Logística (RG) na área em estudo no sentido de analisar a sua resposta face à variação da suscetibilidade à erosão hídrica de solos. Para o efeito utilizamos os sulcos e as ravinas inventariados e os rasters obtidos com base nos MDE's de 20 e 40cm, considerando 3 cenários principais em função das variáveis contempladas, nomeadamente (e recordando): (C1) todas as variáveis; (C2) exclusão das não significantes; (C3) variáveis significantes para os dois métodos estatísticos. Os resultados obtidos estão representados nas figuras 44, 45, 46 e 47.

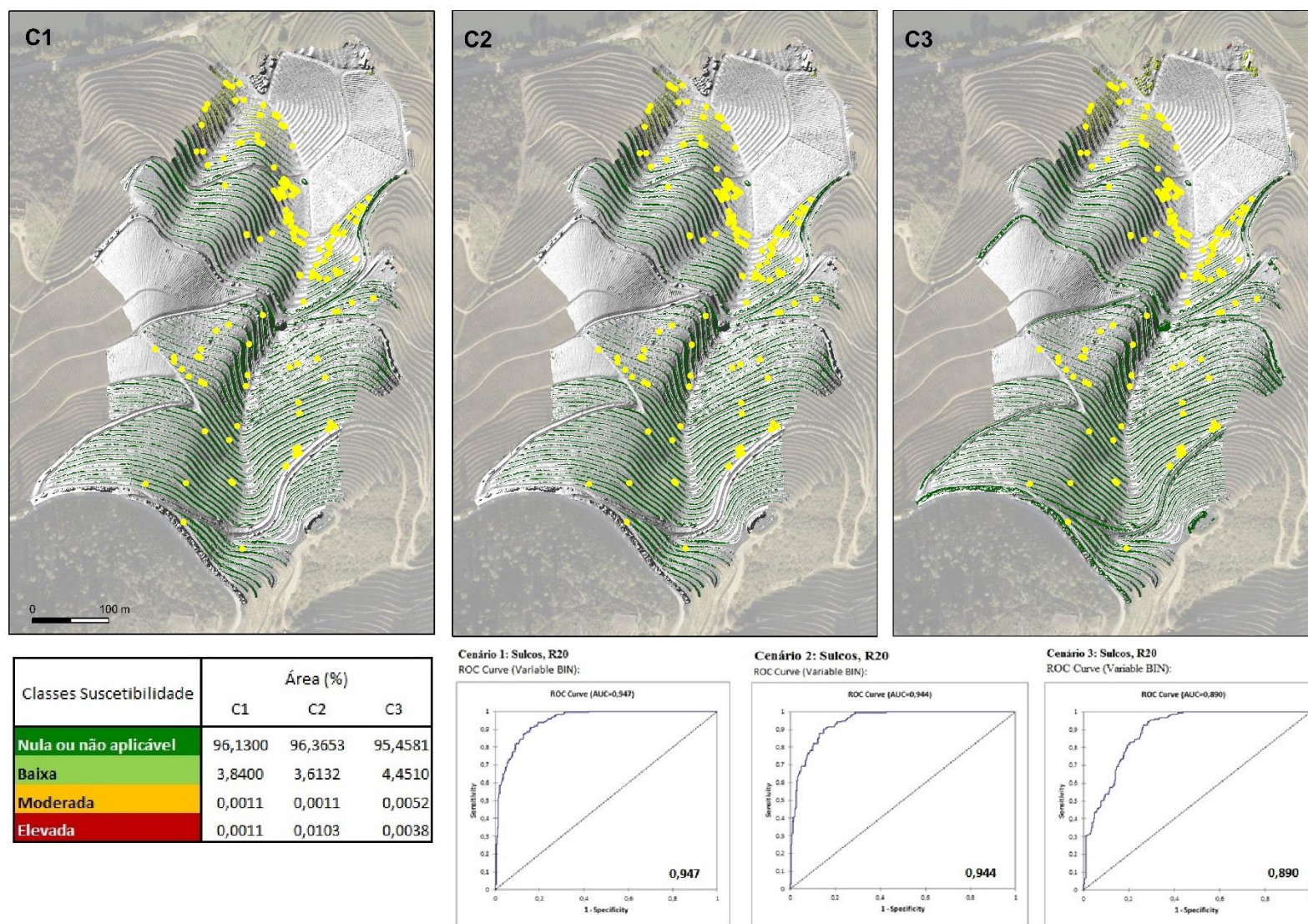


Figura 44 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para os sulcos, segundo os MDE 20cm, para 3 possíveis cenários.

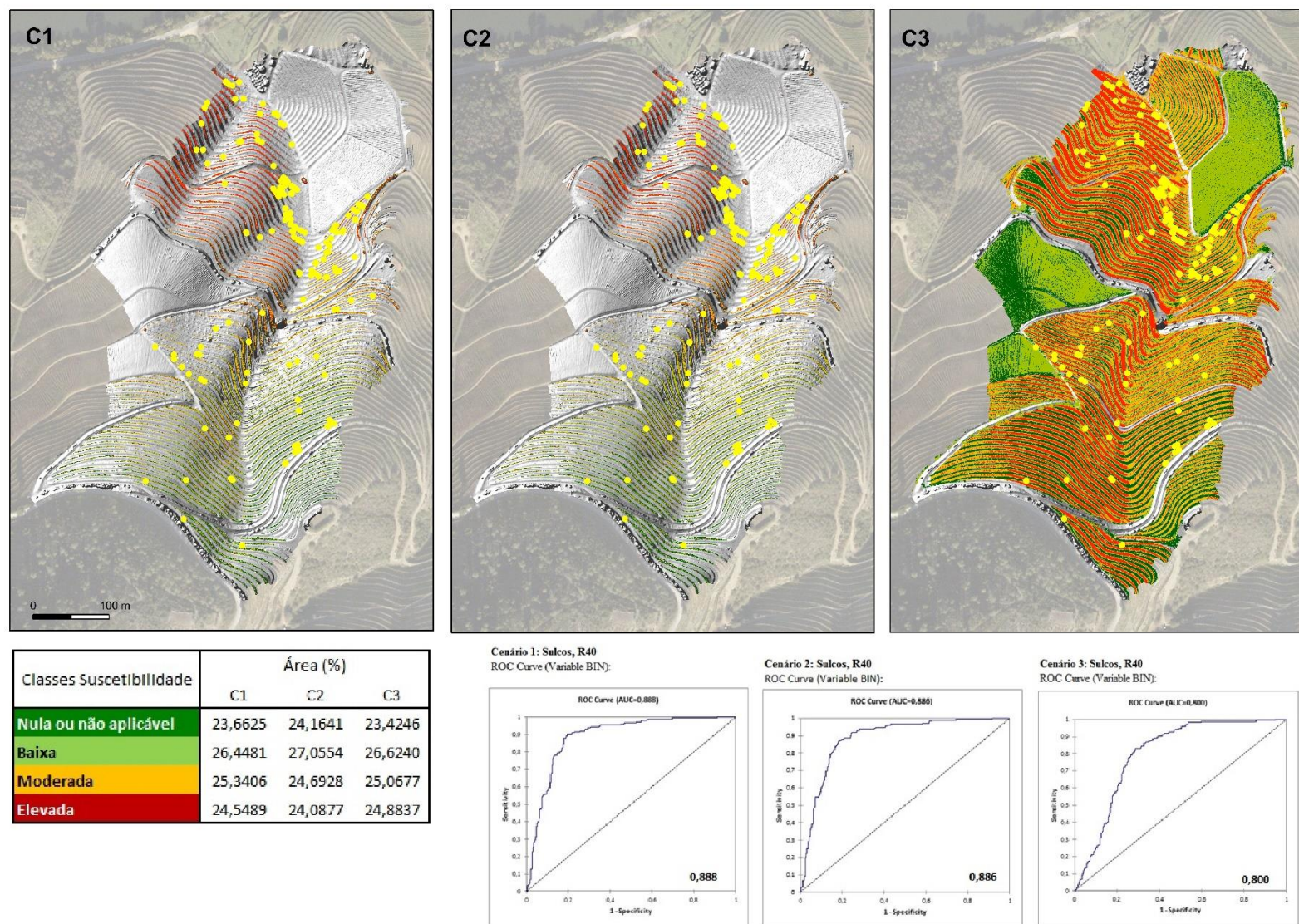


Figura 45 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para os sulcos, segundo os MDE 40cm, para 3 possíveis cenários.

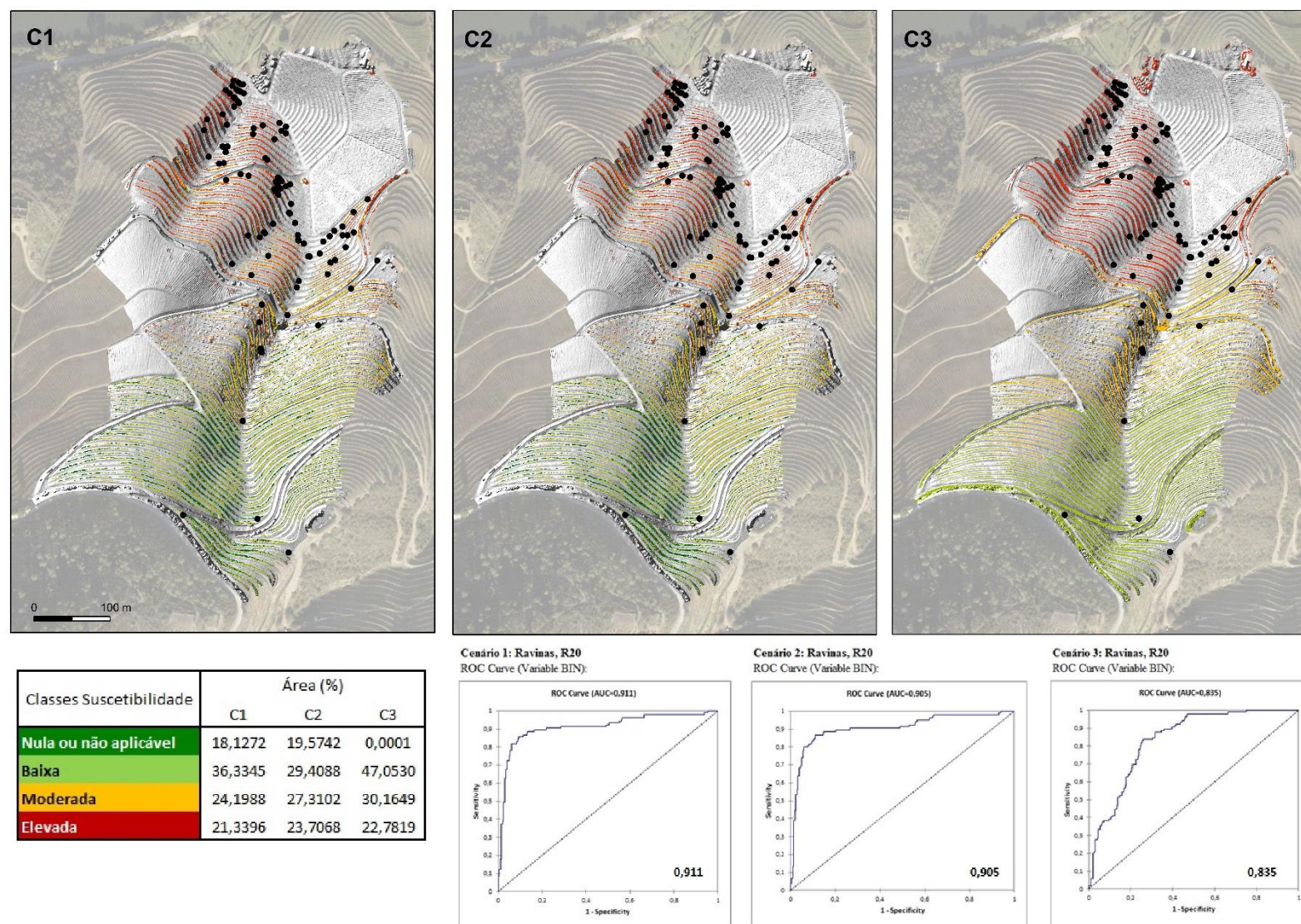


Figura 46 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para as ravinas, segundo os MDE 20cm, para 3 possíveis cenários.

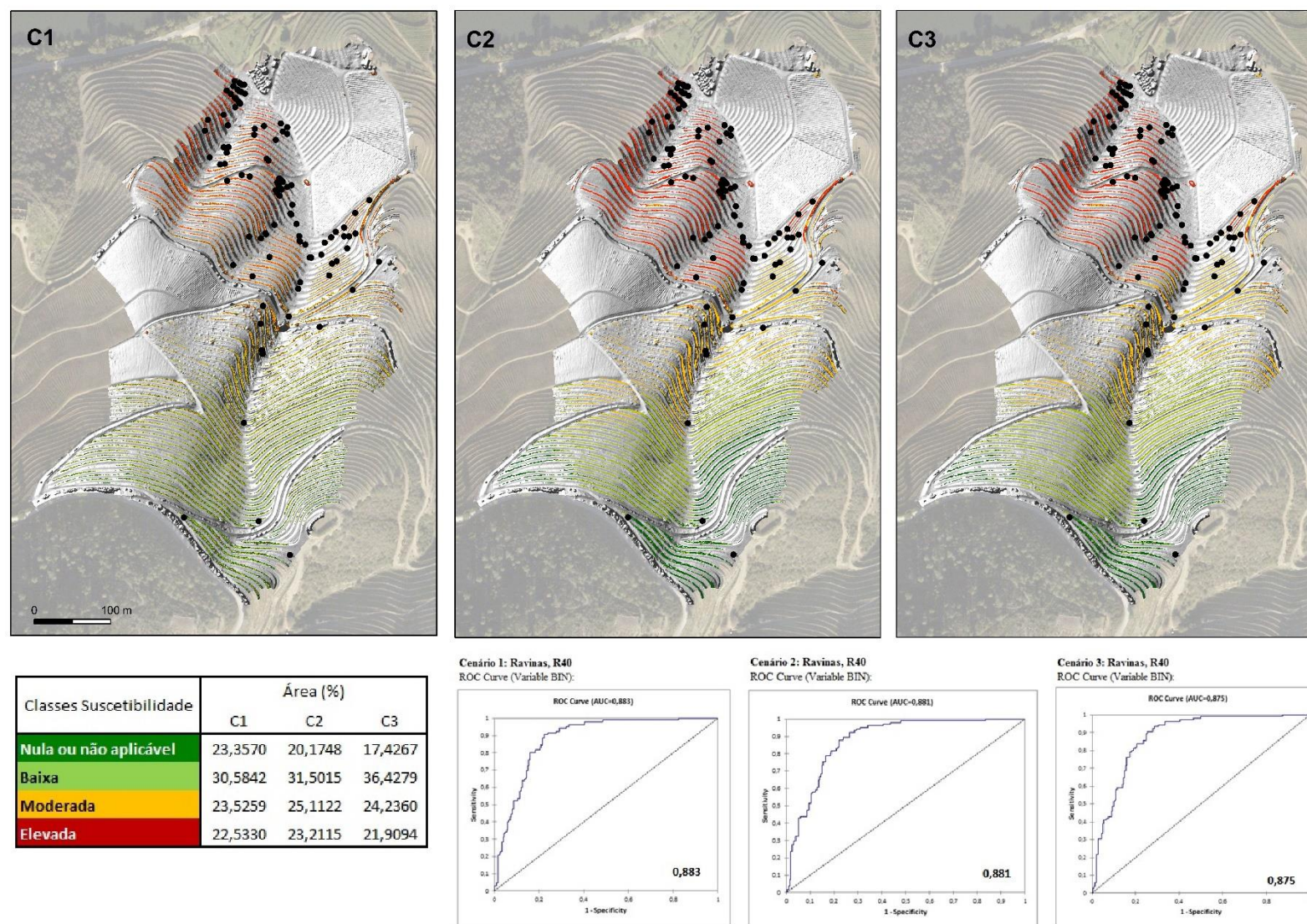


Figura 47 Resultado da aplicação da Regressão Logística tendo em conta as variáveis, para as ravinas, segundo os MDE 40cm, para 3 possíveis cenários.

A primeira observação que nos parece pertinente, é o facto de em todos os cenários serem obtidos valores muito elevados da área sob a curva ROC (AUC), como vemos no quadro 7, sugerindo que a RG é capaz de prever com precisão o ‘objetivo’ em causa³². E note-se que embora o cenário 1 utilizando o MDE de 20cm seja o que obtém uma AUC superior - talvez indiciando que esta resolução é mais adequada, até pelo facto das feições da área em estudo terem pequena dimensão – todos os cenários são igualmente válidos, apesar do C3 denotar sempre um valor inferior.

Quadro 7 Valores da AUC para os diferentes cenários testados.

Feições/MDE	AUC (CURVA ROC)		
	C1 (todas as variáveis)	C2 (exclusão não significantes)	C3 (significantes em ambos os testes)
Sulcos MDE = 20cm	0,947	0,944	0,890
Sulcos MDE = 40cm	0,888	0,886	0,800
Ravinas MDE = 20cm	0,911	0,905	0,835
Ravinas MDE = 40cm	0,883	0,881	0,875

Um segundo aspeto de âmbito geral, é que todos os resultados acentuam a morfologia do terreno e traduzem, como seria de esperar, suscetibilidades mais elevadas nas áreas de maior concentração dos sulcos e ravinas. Veja-se, por exemplo, que quase todos os cenários (com exceção do C3 dos sulcos com o *MDE* de 40cm) excluem as parcelas de vinha ao alto, onde não foram registadas feições erosivas. Se tal pode traduzir uma ilustração correta, excluindo áreas que a própria literatura indica como pouco afetadas pela erosão, também não deixa de indiciar a forte dependência deste método relativamente ao inventário de ‘pontos’ e não pontos’. Claro que poderíamos ter dividido a nossa amostra em duas partes, uma para a modelação e outra para a validação, mas consideramos que o número total de feições era limitado.

Se considerarmos que todos os cenários são válidos e indiciam - com exceção dos relativos à modelação da erosão por sulcos com o *MDE* de 20cm - uma maior suscetibilidade na secção inferior da bacia estudada, é importante procurarmos respostas na influência exercida pelas diferentes variáveis nos resultados.

³². De acordo com Hosmer e Lemeshow (2000), valores da AUC < 0.5 indicam um modelo sem discriminação; valores entre 0.7 e 0.8, uma discriminação aceitável; entre 0.8 e 0.9, excelente e > 0.9 fora de série mas extremamente rara.

Se observarmos todos os *rasters* gerados, vemos que em todos eles (excetuando o *flow accumulation*) fica ‘marcada’ a morfologia do terreno (daí derivando o segundo aspeto atrás referido), distinguindo claramente a área de socacos da de vinha ao alto, e no contexto da primeira, os patamares dos taludes.

Os maiores valores do ITH (isolados a partir do *raster* através da sua reclassificação e posterior conversão para *shapefile*), registam-se sobretudo nos patamares e observam-se também nos caminhos, sendo extremamente reduzidos os sectores identificados na vinha ao alto. Estes dados vão de encontro aos princípios teóricos, pensando que pelo fraco declive, a que se associa em parte a vegetação, é nos patamares que existem condições para uma maior concentração da água. Neste caso temos uma relação inversa desta variável com a erosão: um maior ITH não implica, em áreas de terraços, maior erosão. Até porque as feições se concentram nos taludes. Por isso não observamos correlação gráfica entre esta variável e as perdas de solo, tal como vimos no ponto anterior.

Em relação à altura dos taludes (TAL), verifica-se que os mais elevados se situam na secção superior da bacia, onde o número de sulcos e ravinas é inferior. E não ‘marcam’, obviamente, a vinha ao alto. Se em todo os cenários, as áreas definidas como mais suscetíveis à erosão coincidem com os taludes, não parece que a sua altura, encarada de forma isolada, seja importante.

Se isolarmos igualmente os valores mais elevados do *flow accumulation*, que basicamente ‘desenha’ a rede de drenagem, vemos que eles quase decalcam a rede de caminhos e definem principalmente o vale principal da bacia (de assimetria evidente). Na área da vinha ao alto concentram-se nas entrelinhas, daí a relevância de manter o coberto vegetal. De qualquer modo, não existe uma relação clara entre esta variável e as feições inventariadas, nem com os cenários resultantes, mesmo comparando esta informação com a densidade de drenagem.

Relativamente à curvatura, já referimos que as resoluções utilizadas não permitirem uma interpretação global. Por exemplo, a curvatura convexa encontra-se sobretudo nas entrelinhas da vinha ao alto, o que pode indiciar, eventualmente, que é necessário resolver de forma mais ‘radical’ os efeitos da vegetação nas imagens que deram origem aos *MDE*’s. Procedendo a uma análise espacial simples (*Select by Location*), observa-se que o número de ravinas e sulcos existentes em sectores côncavos é maior, mas se analisarmos os cenários há maior coincidência entre a suscetibilidade elevada e as vertentes convexas. No entanto, estas também ocupam uma maior área.

Valores elevados do parâmetro LS também marcam as entrelinhas da vinha ao alto, o que não faz muito sentido, mas coincidem com os taludes dos socacos. Salienta-se ainda que o número de ravinas e sulcos abrangidos neste setores de maior LS é pouco significativo, mas este aspeto relaciona-se sobretudo com a metodologia seguida na inventariação das feições, uma vez que foram localizadas as suas cabeceiras (topo do talude).

Quanto aos fatores C e P, os maiores valores coincidem, no primeiro caso, com as parcelas de vinha (independentemente do tipo de armação), enquanto em P se destaca a vinha ao alto.

Por fim, quando comparamos os cenários com a exposição verifica-se que há uma certa relação entre as áreas de maior suscetibilidade da secção inferior ocidental da bacia e as exposições mais umbrias.

Perante todas estas observações, pensamos que é necessário continuar a desenvolver mais estudos antes de optarmos concretamente pelas variáveis condicionantes da erosão na RDD, assim como testar outros modelos dos muitos disponíveis. Para além disso, sem dúvida que fica clara a importância do inventário, cuja metodologia deve ser revista aproveitando a experiência desenvolvida.

Considerações finais

Neste ponto final do nosso trabalho, pensamos que é importante refletir sobre um conjunto de questões que foram sendo abordadas, muitas das quais já discutidas quase de forma conclusiva, mas que é importante retomar.

Em primeiro lugar, recordamos que o objetivo principal deste estudo se centrava na avaliação da distribuição espacial da suscetibilidade à erosão hídrica de solos (por sulcagem e ravinamento), tentando encontrar um modelo que conseguisse dar resposta a esta pergunta de partida, considerando o tipo de processos em causa, a escala de análise e as características da área em estudo, cuja morfologia original foi profundamente modificada pelos sistemas de armação de terreno em socacos e vinha ao alto.

Considerando que a aplicação da *USLE* é a metodologia mais frequentemente utilizada e citada na literatura de referência, decidimos efetuar um teste sobre a sua aplicabilidade na área em estudo. No entanto, como explicamos no capítulo 3, não se pretendia quantificar as perdas de solo por erosão mas sim identificar quais as áreas de maior e menor suscetibilidade, pelo que substituição dos fatores R e K por valores não respondia ao pretendido, como demonstraram os seus resultados (cf.fig.28): como mais suscetíveis são identificadas as parcelas de vinha ao alto (contrariando estudos prévios), assim como não há coincidência com a localização das feições inventariadas. De qualquer modo, tentamos aplicar parcialmente o mesmo modelo, mas substituindo o fator R (erosividade) pelo *flow accumulation* e eliminando o fator K (erodibilidade), pois não tínhamos dados suficientes que permitissem expressar a variação espacial da textura/estrutura/permeabilidade. Como então referimos os resultados foram distintos dos anteriores, aumentando a área de suscetibilidade baixa até porque a vinha ao alto não surgia tão ‘marcada’, mas embora se verificasse uma concentração das feições nos taludes não conseguíamos observar a variação espacial esperada.

Decidimos então testar o método da Regressão Logística, que tem dado resultados bastante positivos em trabalhos similares, aproveitando também o facto de termos procedido à inventariação de sulcos e ravinas, contemplando, inclusivamente, medições *in situ* da sua geometria. Tal permitiu-nos fazer uma análise estatística das suas características, mas também nos demonstrou que a metodologia utilizada no decurso do inventário de campo deveria ter sido mais rigorosa e completa, tal como referimos no ponto 3.2. Com efeito, embora não possamos esquecer que o comprimento das feições tende a ser condicionado, na área de socacos, pela dimensão do talude, teria sido

importante subdividir cada feição em vários pontos e proceder às respetivas medições, evitando assim que a sua própria localização estivesse limitada às cabeceiras e, consequentemente, ao topo do talude, o que influenciou o resultado da significância estatística das variáveis condicionantes da erosão e a própria modelação.

Neste contexto das variáveis e pelo facto da sua significância não ser homogénea consoante o teste utilizado e variar também em função da resolução do *MDE* utilizado, foram então testados vários cenários para a modelação da suscetibilidade associada a sulcos e ravinas. É importante referir que, como vimos, nenhuma variável tinha à partida um ‘peso’ muito relevante. Porém, em conjunto, permitiram obter resultados cujo valor da AUC considera de discriminação excelente, salientando-se sobretudo o cenário 1 de sulcos e ravinas, utilizando o *MDE* de 20cm. Assim, a Regressão Logística permitiu ajustar estas variáveis numa fórmula matemática, que foi efetiva para estimar as áreas mais e menos suscetíveis à erosão hídrica. Salienta-se ainda que as diferenças entre os *MDE*'s de 20 e 40cm não muito significativas, mas, como também referimos, o primeiro parece melhor ajustado às próprias dimensões das formas de erosão inventariadas.

Para finalizar, um breve comentário ainda sobre os fatores condicionantes. Como salientamos, estamos convictos que fatores locais como a variação da pedregosidade e da textura do solo são decisivos no quadro da RDD. Também a variação da densidade e tipo de coberto vegetal seria um parâmetro importante a incluir na modelação, até pelo reconhecimento que lhe é conferido, no âmbito das ‘boas práticas agrícolas’, como proteção face à erosão.

Os resultados obtidos sobre a suscetibilidade à erosão na Quinta de S. Luiz, excelentes do ponto de vista dos resultados da curva ROC, são mais um contributo no conjunto de trabalhos que têm sido empreendidos pelo projeto MODRIS. Ficam aqui expressas várias questões que devem ser discutidas, para tentarmos, num futuro próximo, responder de forma mais objetiva aos problemas associados à modelação da erosão hídrica em áreas de vinha da RDD.

Referências Bibliográficas

- Abade, E.; Guerra, J. (2008) - *Método de Pontuação das Parcelas de Vinha da Região Demarcada do Douro. Contributos para a sua revisão. Perspectiva enológica*. Centro de Estudos Vitivinícolas do Douro-Régua, 19p.
- Aguiar, F. (2002) – O Alto Douro Vinhateiro, uma paisagem cultural, evolutiva e viva. *Douro- Estudos & Documentos*. Vol. VII (13), pp.143-152.
- Assunção, Paulo (2006) - O “terremoto” provocado por Sebastião José de Carvalho na América Portuguesa. *Lusitania Sacra*, 2ª série, 18, pp. 331-351.
- Aksoy, H. e Kavvas, H. (2005) – *A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models*. Catena 64, 247-271. Elsevier .
- Barbosa, D. (2006) – *O Sistema de Informação Geográfica e a atribuição do benefício: A vinha na Região Demarcada do Douro*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. 114 p.
- Bateira, C.; Seixas, A.; Pereira, S.; Hermenegildo, C.; Cancela, M. (2005) – Áreas experimentais de monitorização do funcionamento hidrodinâmico de vertentes organizadas em patamares agrícolas. *X Colóquio Ibérico de Geografia*. Disponível em: http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_X_Coloquio_Iberico_Geografia/pdfs/087.pdf
- Bateira, C.; Pereira, S.; Hermenegildo, C.; Seixas, A.; (2007a) - Relação entre episódios chuvosos e escoamento na Bacia Hidrográfica da Carriça (Vale do Douro - Baião). *Publicações da APGeom*, Vol.V, pp.93-105.
- Bateira, C.; Pacheco, E.; Soares, L.; Pereira, S.; Seixas, A., Hermenegildo, C. (2007b) - Hidrologia de terraços agrícolas e instabilidade de vertentes no vale do Douro. In: *Marjades I Prevenció de Riscs Naturals*. Consell de Mallorca, pp. 41-66.
- Bateira, C.; Martins, L.; Santos, M.; Pereira, S. (2011) – *Cartografia da susceptibilidade a movimentos de vertente na Região Demarcada do Douro*. Universidade Lusófona, Porto, 38 p.
- Bergonse, R. e Reis, R. (2011) – *Formas, processos e padrões na erosão por ravinamento: para um enquadramento teórico coerente*. Centro de estudos geográficos da Universidade de Lisboa. Finisterra, XLVI, 92, pp: 99-120.
- Bergsma, E.; Charman, P.; Gibbons, F.; Hurni, H.; Moldenhauer, W.; Panichapong, S. (1996) - *Terminology for Soil Erosion and Conservation*. Sub-Commission C, Soil and Water Conservation of the International Society of Soil Science, 322p.
- Blum, W. (2005) - Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, V. 4 (3), pp. 75-79.
- Bouma, J. (2006) - Soil functions and land use. In: *Soils: basic concepts and future challenges*. G. Certini & R. Scalenghe (Eds.). Cambridge University Press, pp. 211-221.
- Brandão, C.; Rodrigues, R.; Costa, J. (2001) - *Análise de fenómenos extremos, precipitações intensas em Portugal Continental*. DSRH, Instituto da Água, Lisboa, 57p.
- Bryan, R. (2000) – *Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope*. Geomorfology, 32, p:385-415. Soil Erosion Laboratory, Faculty of Forestry, University of Toronto. Canada.
- Campo-Bescós, M.; Flores-Cervantes, J.; Bras, R.; Casalí, J.; Giráldez, J. (2013) - Evaluation of

- a gully headcut retreat model using multitemporal aerial photographs and digital elevation models. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 118, 2159–2173.
- Cardoso, António (2011) – Landmarks of viticulture in the north of Portugal. In: *Francisco Girão 1904-1973 - An innovator in vitiviniculture in the north of Portugal*. Fundação Francisco Girão, Vol.II, pp.101-179.
- Casalí, J.; Giménez, R. e Campo-Bescós, M.A.(2015) – *Gully geometry: what are we measuring?*. *Journal Soil*, 1, p:509-513.
- Catalão, M.; Pacheco, F. (2010) – Perdas de solo e risco de erosão na bacia hidrográfica da ribeira da Meia Légua. *VII Congresso Nacional de Geologia, Revista Electrónica de Ciências da Terra*, V. 9, nº. 3, 4 p.
- Daveau, S. (1977) - *Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal*. Lisboa, CEG-UL, 192 p.
- Daveau, S. (1988) - Comentários e actualizações. In Ribeiro, O., Lautensach, H. & Daveau, S., *Geografia de Portugal: o ritmo climático e a paisagem*, João Sá da Costa (Ed.), pp. 483-535.
- Desmet, P.; Govers, G. (1996) – A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, V. 51, No. 5, pp. 427-433.
- Dotterweic, M. (2013) - The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation-A global synopsis. *Geomorphology*, Volume 201, pp. 1-34
- Faria, A. (2014) - Avaliação da Suscetibilidade a Movimentos de Vertente por Método Matemático de Base Física e de Base Estatística: Estudo Comparativo no Vale do Douro Vinhateiro. Dissertação de Mestrado, FLUP, 146p.
- Fauvrelle, N. (2007). Formas de armação do terreno no Alto Douro Vinhateiro: protecção e gestão da paisagem. *População e Sociedade*, nº 13, pp. 87-96.
- Fernandes, J. (2014) – *Modelação de Processos Erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta de S. Luiz*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. FLUP, 135p.
- Fernandes, J.; Bateira, C.; Soares, L.; Oliveira, S.; Faria, A. (2015) - Aplicação do modelo SIMWE à definição de áreas susceptíveis à formação de ravinas: estudo de caso no Alto Douro Vinhateiro. In: Ferreira, Alves e Keizer (Eds.) *Planeamento e Gestão dos Recursos Naturais. Homenagem Professora Doutora Celeste Coelho*, pp.190-203.
- Ferreira, A. (1991) - (1991) – “Neotectonics in Northern Portugal. A geomorphological approach”, *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd 82*, pp. 73-85.
- Ferreira, António de Brum (2004) - O Noroeste (Minho e Trás-os-Montes Ocidental). O Relevo de Portugal. *Grandes Unidades Regionais*. Coimbra, *Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, pp. 111-125.
- Ferreira, C. (2008) – *Degradação do Solo no Concelho de Gondomar: Uma Perspectiva Geográfica. Contribuição para a definição de estratégia de planeamento e ordenamento do território*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 256p.
- Figueiredo, T. de (2001) - *Pedregosidade e erosão hídrica dos solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro*. Tese de

Doutoramento. UTAD, Vila Real, 283p.

- Figueiredo, T.; Ferreira, A.; Gonçalves, D.; Poesen, J. (2004) - Efeito das características dos elementos grosseiros na erosão inter-sulcos: contributo para a sua modelação. *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. XXVII, nº1, pp.230-243.
- Figueiredo, T.; Ferreira, A. ; Gonçalves, D. ;Poesen, J. (2009) - Temporal changes on the effect of rock fragments in interrill soil loss: a simulation experiment and a simple descriptive model. *Revista de Ciências Agrárias*, 32:1, pp.397-406.
- Figueiredo, T.; Poesen, J.; Ferreira, A.G.; Gonçalves, D. (2013) - Runoff and soil loss from steep sloping vineyards in the Douro valley, Portugal: Rates and factors. In *Runoff Erosion*, N. Evelpidou, S. Cordier, A. Merino, T. Figueiredo, C. Centeri, Eds.University of Athens, Greece, pp.323-344.
- Figueiredo, T. (2015) - *Proteção do Solo em Viticultura de Montanha. Manual Técnico para a Região do Douro*. ADVID, 114p.
- Figueiredo, T. (2012) – Pedregosidade dos solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição especial, Instituto Politécnico de Bragança. Série de Estudos 83. Bragança
- Fonseca, B. (2016) - *Modelação Topográfica de grande resolução, processos hidrológicos à superfície e no solo*. Dissertação de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território. Flup.
- Gao P. (2013) - Rill and Gully Development Processes. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, Volume 7, pp. 122-131.
- Grimm, M.; Jones, R.; Montanarella, L. (2002) – *Soil Erosion Risk in Europe*. European Soil Bureau, Institute for Environment & Sustainability, JRC Ispra. 44 p.
- Haopeng Geng, Baotian Pan, David G Milledge, Bo Huang and Guoliang Zhang (2015) - Quantifying sheet wash erosion rates in a mountainous semi-arid basin using environmental radionuclides and a stream power model. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 40, Issue 13, pp. 1814–1826.
- Hewlett, J. (1961) – Soil moisture as a source of base flow from steep mountain watersheds. *US Forest Research Paper*, Southeastern Forest Experimentation Station, Paper 132, 11 p.
- Horton, R. (1933) - The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions American Geophysical Union*, 14, pp. 446-460.
- Hosmer, D.; Lemeshow, S. (2000) - *Applied Logistic Regression*. 2nd ed. John Wiley & Sons.
- IUSS Working Group WRB (2015) - World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, nº106. FAO, Rome.
- IVDP (2014) – Estatísticas. Disponível em: <http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=204&codSeccao=6&idioma=0>
- Jetten, V.; Roo, Ad de e Favis-Mortlock, D. (1999) – *Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models*. Catena 37, p:521-541. Elsevier.
- Jones, G. (2013) - *Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro: Uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho*. ADVID, 107p.
- Karydas, C; Panagos, P. e Gitas, I. (2012) – *A classification of water erosio, models according to*

- their geospatial characteristics*. International Journal of Digital Earth, 1-22, iFirst Article.
- Kirkby, M.J. e Bull, L.J. (1997) – *Some factors controlling gully growth in fine-grained sediments: a model applied in Southeast Spain*. Catena, Volume 40, Issue 2, pages 127-1446.
- Lafayette, K.; Cantalice, J. e Coutinho, R. (2011) – *Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 35, núm. 6, pp. 2167-2174, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Brasil.
- Leitão, A. (2014) - *Processos erosivos no Alto Douro Vinhateiro: o caso de estudo da Quinta das Carvalhas*. Dissertação de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território. FLUP, 107p.
- Liana-Jun, H. e Flanagan, D. (2013) – *Towards new generation soil erosion modelling: building a unified omnivorous model*. Journal Soil and Water Conservation Society 68 (4): 100A-103A.
- Lieskovský, J.; Kenderessy, P. (2012) - Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vráble (Slovakia) using Watem/Sedem. *Land Degradation and Development*, 25, pp. 288-296.
- Lilly, A.; Grieve, I.C.; Jordan, C.; Baggaley, N.J.; Birnie, R.V.; Futter, M.N.; Higgins, A.; Hough, R.; Jones, M.; Noland, A.J.; Stutter, M.I. e Towers W. (2009) – *Climate change, land management and erosion in the organic and organo-mineral soils in Scotland and Northern Ireland*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.325.
- Lourenço-Gomes, L.; Rebelo, J. (2012) – Alto Douro Vinhateiro, património da humanidade: a complexidade de um programa de preservação. *Pasos*, Revista de Turismo y Patrimonio Cultural, Vol.10, nº1, pp.3-17.
- Lourenço, L. (1990) - Efeitos do temporal de 23 de Junho de 1988 na intensificação da erosão das vertentes afectadas pelo incêndio florestal de Arganil/Oliveira do Hospital, Coimbra, 3ª *Semana de Geografia Física*, IEG, 35p.
- Magalhães, N. (2008) - *Tratado de Viticultura - A Videira, a Vinha e o "Terroir"*. 1ª ed., Lisboa, Chaves Ferreira - Publicações, S.A., 605p.
- Magalhães, N. (2011) - A viticultura na Região do Douro - dos primórdios às grandes mudanças no virar do século. In MAGALHÃES, Nuno (coord) - *Francisco Girão: um inovador da vitivinicultura do Norte de Portugal*. [Porto]: Fundação Francisco Girão. Vol. II, pp. 42-79.
- Magalhães, N. (Coord.) (2012) - *Manual de Boas Práticas Vitícolas na Região Demarcada do Douro*. IVDP-CCDRN, 62p.
- Martins, C.A. (1991) – A filoxera na viticultura nacional. *Análise Social*, v. XXVI, p. 653-658.
- Martins, M. (2005) - *Processos de Erosão Acelerada na Região Demarcada do Douro*. Dissertação de Mestrado. FLUP.
- Meneses, B. (2011) – *Erosão Hídrica de Solos: Caso de Estudo do Concelho de Tarouca*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade de Lisboa. 117p.
- Merritt, W.; Letcher, R.; Jademan, A. (2003) - A Review of Erosion and Sediment Transport Models. *Environmental Modelling & Software*. V. 18., p. 761-199.
- Moore, I.D.; Burch, G.J. (1986) - Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, V. 50, p. 1294–1298.
- Moreira, N.; Búrcio, M.; Dias, R.; Coke, C. (2010) – Partição da deformação Varisca nos sectores de Peso da Régua e Vila Nova de Foz Côa (Autóctone da Zona Centro Ibérica). *Comunicações*

Geológicas, T. 97, pp. 147-162.

Morgan, R.P.C. (2005) – Soil Erosion and Conservation. *Natural Resources Institute*, 3rd edition. Cranfield University.

Morin, J.; Benyamini, Y.; Michaeli, A. (1981) - The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement on the profile. *Journal of Hydrology*, 52, pp. 321-336.

Pedrosa, A.; Martins, M.; Pedrosa, F. (2004) - Processos de erosão acelerada. Região Demarcada do Douro: um património em risco. *Douro-Estudos & Documentos*, 17, pp. 189-206.

Pedrosa, A. e Martins, M. (2004) - Precipitações extremas na Região Demarcada do Douro: consequências geo-ambientais. *Douro-Estudos & Documentos*, 17, pp. 213-238.

Pereira, G. M. (1996) - A região do vinho do Porto - origem e evolução de uma demarcação pioneira. *Douro-Estudos & Documentos*, n.º 19, pp. 177-194.

Pereira, G. Martins (1998) - Um Vinhedo Milenar, um Vinho Universal. In: *Enciclopédia dos Vinhos de Portugal: O Vinho do Porto e os Vinhos do Douro*. Lisboa, Chaves Ferreira - Publicações, S. A., pp. 38-78.

Petan, S.; Pinto, F.; Miko, M.; Barbosa, J. (2010) – Modelação da erosão do solo da bacia hidrográfica do Rio Leça, com a equação RUSLE e SIG. *Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos*, V 31, n.º. 1, pp. 99-110.

Pimenta, M. (1998) - *Directrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG: factor de cultura C e factor de erodibilidade do Solo K*. Instituto da Água (INAG), Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, 13 p.

Ramos, M. (2008) – *Matos do Parque Nacional de Montesinho - Erosão Hídrica e Dinâmica do Carbono: Um estudo à micro-escala com Simulação de Chuva*. Dissertação apresentada à Universidade dos Açores para a obtenção do grau de Mestre em Gestão e Conservação da Natureza, 143 p.

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D. (1997) – Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA Agricult. Handbook*, n.º. 703. Agricultural Research Service. Washington, DC, USA. 404 p.

Ribeiro, J. (2000) – Caracterização genérica da região vinhateira do Alto Douro. *DOURO – Estudos & Documentos*, Vol. V, pp. 11-29.

Rosa, C. (1981) – Relatório preliminar dos talhões de erosão em cultura da vinha na Quinta de Santa Bárbara. *Proceedings of Jornadas Vinorde/81*, Tema I Viticultura, Vila Real, pp.33-37.

Roxo, M. (s/d) – *A Herdade de Vale Formoso: Passado e Futuro*. Documento Síntese. http://www.cpada.pt/pt/attachments/Centro_Experimental_de_Erosao_de_Vale_Formoso.pdf

Salavessa, M. (2005) – Um traço cultural do Alto Douro vinhateiro. *Douro: Estudos & Documentos*, vol. 1, n.º 1, pp. 187-194.

Schuster, J. (2001) - *Soil and Vegetation Management: Keys to Water Conservation on Rangeland*. Texas Agricultural Extension Service, 12p.

Seixas, A.; Bateira, C.; Hermenegildo, C.; Soares, L. e Pereira, S. (2006) - Definição de critérios de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente na Bacia Hidrográfica da

- Ribeira da Meia Léguas". *Actas de las Jornadas sobre terrazas y prevencion de riesgos naturales*, Mallorca, pp. 87-96.
- Selby, M. (1993) - *Hillslope Materials & Processes*. New York, Oxford University Press, 264 p., 461p.
- Silva, A.; RIBEIRO, A. (1985) – Thrust Tectonics of Sardinian Age in the Alto Douro Region (Northwestern Portugal). *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 71(2), pp. 151-157.
- Silvério, M. (2000) – *Erosão hídrica de solos na Serra da Aboboreira*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 220p.
- Simões, H. (2013) - *Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, 188p.
- Soares, L.; Bateira, C.; Pereira, S.; Seixas, A.; Hermenegildo, C. (2010) - Processos de escoamento em terraços agrícolas do vale do Douro: comportamento hídrico de formações superficiais derivadas de metassedimentos e rochas granitoides (análise em diferentes secções de vertentes), *Actas do XII Congresso Ibérico de Geografia*, Porto.
- Soares, L. (2008) - *A Importância das Formações Superficiais no Âmbito dos Processos de Erosão Hídrica e Movimentos de Vertente no NW de Portugal*. Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto para a obtenção do grau de doutor na especialidade de Geografia no ramo de conhecimento em Geografia Física, 887 p.
- Sousa, B. e Sequeira, A. (1989) - *Notícia explicativa da folha 10 D (Alijó) da Carta Geológica de Portugal (1/50 000)*. Lisboa, SGP, 59 p.
- Sousa, F. (2007) - O Alto Douro: da demarcação pombalina à classificação de património mundial. *População e Sociedade*, n.º 13, p. 19-30.
- Sousa, M. (1984) - Considerações sobre a estratigrafia do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e a sua relação com o Paleozóico Inferior. *Quad. Geol. Ibérica*, nº9, pp. 9-36.
- Stabile, R. (2013) – *Limites críticos topográficos de feições erosivas, lineares em Piratininga (SP)*. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Brasil.
- Summer, W. e Walling, D.E. (2002) – Modelling erosion, sediment transport and sediment yield. *International Hydrological Programme. IHP-VI Technical Documents in Hydrology*, No.60. UNESCO, Paris.
- Tomás, P. (1993) – *Erosão Hídrica do Solo*. Lisboa. 22 p.
- Vente, J. e Poesen, J. (2005) – *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models*. *Earth Science Reviews* 71, p:95-125.
- Williams, J.R. e Berndt, H.D. (1977) – *Sediment yield prediction based on watershed hydrology*. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 20, 1100-1104.
- Wischmeier, W. ; Smith, D. (1978). - *Predicting rainfall erosion losses - a guideline to conservation planning*, USDA Agric. Handbook 537, Washington, D.C., 67p.

Anexos

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz

(Tabuço)

Anexo 1

SAACOR	X	Y	Latigra (L) [C] m	Comprimento [C] m	Profundidade [C] m	Área (L* C) m ²	Declive (S) [°]	Volume erosão- [m ³] m ³	Altitude (R=20m) [m]	Altitude (R=20m) [m]	Declive (R=20m) [m]	Declive (R=20m) [m]	Exposição (R=20m) [m]	Curvatura (R=20m) [m]	Curvatura (R=20m) [m]	Flowacc (R=20m) [m]	Flowacc (R=20m) [m]	ITH (R=20m) [m]	ITH (R=20m) [m]	LS (R=20m) [m]	FC	FP		
1	42782,66040	46384,93880	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	121,3	121,2	25,2	21,4	2	3	-91,09	48,88	272,0	5,0	698,19	758,12	1,35	4,85	0,20	0,21
2	42782,67320	46384,93810	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	121,3	121,7	25,3	17,5	3	3	-63,42	116,44	1,0	0,0	100,12	1044,72	1,35	1,04	0,20	0,21
3	42782,43880	46384,93130	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	121,7	121,2	25,2	21,4	3	3	-91,71	134,48	4,0	4,0	391,71	348,48	1,35	0,20	0,21	
4	42782,08350	46384,43300	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	121,8	121,8	25,2	28,8	3	3	9,19	44,04	2,0	34,0	700,54	768,47	1,37	4,20	0,20	0,21
5	42782,79910	46384,46010	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	121,9	121,8	25,2	31,8	3	3	-79,25	125,77	77,0	34,0	788,14	353,51	1,12	6,82	0,20	0,21
6	42783,17390	46384,04910	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	122,0	122,0	25,2	26,4	3	3	-90,84	104,84	55,0	4,0	910,58	890,68	1,14	6,20	0,21	0,22
7	42784,93460	46377,28670	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	122,6	122,6	25,2	19,9	3	3	-123,09	36,27	3,0	1,0	797,39	920,52	1,79	1,42	0,20	0,21
8	42784,93710	46377,22240	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	122,7	122,7	26,3	31,8	3	3	-97,42	104,84	55,0	4,0	678,15	497,84	1,14	6,20	0,21	0,22
9	42787,42390	46354,84420	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	123,0	123,0	22,4	20,0	3	3	-135,04	43,65	3,0	22,0	850,22	955,73	1,03	3,07	0,20	0,21
10	42784,17780	46354,46680	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	123,0	123,0	24,7	28,0	3	3	-148,98	97,51	2,0	1,0	721,05	662,23	1,18	1,85	0,20	0,21
11	42784,72490	46354,46700	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	123,1	123,1	24,7	28,0	3	3	-48,13	75,39	1042,00	1,0	717,04	724,01	1,75	0,20	0,21	
12	42800,49270	46352,52640	0,30	1,10	0,25	0,33	0,0750	0,0825	123,1	123,0	22,2	28,6	3	3	71,60	163,15	7,0	1,0	816,62	630,70	1,04	2,03	0,20	0,21
13	42779,56000	46354,44010	0,75	1,00	0,29	2,25	0,2125	0,0625	124,4	124,3	14,6	20,9	3	3	-174,88	29,13	1,0	1,0	1220,88	880,22	1,28	1,33	0,20	0,21
14	42784,14410	46353,27210	0,15	0,30	0,20	0,45	0,0300	0,0900	124,4	124,3	21,7	21,5	3	3	51,12	0,98	1,0	4,0	643,40	647,98	1,04	2,61	0,20	0,21
15	42782,59350	46352,75940	0,25	2,60	0,13	0,65	0,0435	0,1183	124,4	125,4	25,3	25,7	3	3	20,45	11,37	2,0	1,0	628,08	797,90	2,38	1,97	0,20	0,21
16	42779,77480	46352,73410	0,20	1,70	0,10	0,32	0,0200	0,1020	125,3	125,3	25,8	31,6	3	3	-23,12	24,56	4,0	2,0	618,06	552,33	2,99	2,53	0,20	0,21
17	42783,44510	46352,72960	0,74	1,80	0,27	0,26	0,0802	0,1202	125,4	125,4	22,8	31,8	3	3	-138,48	10,02	2,0	1,0	887,44	787,44	2,18	1,47	0,20	0,21
18	42780,58300	46353,54510	0,70	2,20	0,13	0,54	0,0910	0,2002	127,6	127,6	25,9	21,8	3	3	-2,84	40,63	3,0	4,0	712,54	781,66	2,75	2,37	0,20	0,21
19	42779,64930	46354,26510	0,40	1,30	0,20	1,40	0,0800	0,2800	127,6	127,6	22,6	19,3	3	3	-18,59	37,92	0,0	1,0	828,24	989,18	2,17	1,41	0,20	0,21
20	42779,52330	46353,12310	0,34	1,00	0,27	0,32	0,0918	0,2754	127,4	127,4	22,6	28,0	3	3	-133,02	13,11	5,0	2,0	825,22	789,52	2,30	1,97	0,20	0,21
21	42778,24960	46353,63290	0,27	2,90	0,15	0,77	0,0555	0,1810	127,3	127,4	27,8	30,6	3	3	-90,14	62,89	5,0	2,0	653,27	582,96	2,90	2,50	0,20	0,21
22	42783,18020	46354,12200	0,44	1,60	0,28	1,46	0,1288	0,4817	130,3	130,3	17,4	18,9	4	4	-86,82	51,38	7,0	0,0	1128,25	1089,13	3,83	1,18	0,20	0,21
23	42783,80550	46353,14360	0,40	1,40	0,30	0,56	0,0900	0,2400	130,4	130,4	14,9	13,3	2	3	-22,93	9,81	625,00	22,0	1320,78	1469,06	2,06	1,87	0,20	0,21
24	42773,14030	46352,39830	0,46	1,40	0,20	1,56	0,0900	0,1318	130,6	130,6	11,1	16,0	3	3	-23,27	63,10	2,0	1,0	1088,13	1842,18	1,00	0,90	0,20	0,21
25	42775,59980	46352,25470	0,20	1,40	0,67	0,87	0,0175	0,0995	130,5	130,6	24,4	22,8	3	3	-7,55	105,58	3,0	65,0	994,53	984,41	1,84	2,48	0,20	0,21
26	42774,62980	46352,47750	0,46	1,40	0,10	2,04	0,0600	0,2400	130,6	130,6	25,4	28,4	3	3	-5,57	100,83	1,0	2,0	741,71	713,89	2,50	2,15	0,20	0,21
27	42774,19390	46352,44790	0,46	1,40	0,10	2,04	0,0600	0,2400	130,6	130,6	25,4	28,4	3	3	-5,57	100,83	1,0	2,0	741,71	713,89	2,50	2,15	0,20	0,21
28	42780,82610	46353,17800	0,25	1,70	0,10	0,41	0,0250	0,0425	131,8	131,7	20,7	24,8	3	3	-34,41	107,05	4,0	1,0	947,48	780,01	2,22	1,82	0,20	0,21
29	42774,27280	46353,96400	0,25	1,70	0,10	0,41	0,0250	0,0425	131,8	131,8	22,7	21,4	3	3	-22,01	10,46	7,0	2,0	854,82	824,71	2,22	1,89	0,20	0,21
30	42774,29410	46353,91910	0,25	1,70	0,10	0,41	0,0250	0,0425	131,8	131,8	22,7	21,4	3	3	-22,01	10,46	7,0	2,0	854,82	824,71	2,22	1,89	0,20	0,21
31	42779,81200	46352,29400	0,40	1,70	0,10	0,68	0,0400	0,0800	131,8	131,7	21,0	21,7	3	3	-92,32	83,84	0,0	2,0	1187,40	909,44	1,69	1,78	0,20	0,21
32	42783,81200	46352,29400	0,20	1,30	0,18	0,38	0,0360	0,0480	131,7	131,4	24,0	34,7	3	3	-136,95	28,88	1,0	2,0	811,46	523,17	1,50	2,75	0,20	0,21
33	42783,70960	46352,18420	0,40	1,40	0,18	0,56	0,0400	0,2414	131,7	131,7	21,0	21,7	3	3	-107,92	11,78	1,0	1,0	1072,92	1068,43	1,49	1,37	0,20	0,21
34	42810,60080	46376,27800	0,40	1,40	0,18	0,56	0,0400	0,0986	136,8	136,5	25,3	25,5	2	2	-90,88	44,56	9,0	5,0	938,13	774,44	2,76	2,57	0,20	0,21
35	42808,61000	46376,62340	0,40	1,30	0,20	0,60	0,0800	0,1200	138,1	138,2	22,2	24,5	2	2	-14,65	54,44	9,0	12,0	965,48	811,93	2,43	2,27	0,20	0,21
36	42804,82040	46375,20470	0,72	1,80	0,10	1,26	0,0300	0,1200	140,2	140,2	30,9	30,0	1,0	1,0	-98,82	10,50	0,0	1,0	980,48	904,48	4,07	1,37	0,20	0,21
37	42808,82000	46382,44020	0,36	0,63	0,17	0,23	0,0612	0,1998	139,9	139,8	12,8	15,2	3	3	-125,19	62,29	1,0	10,0	1628,94	1126,54	1,01	1,33	0,20	0,21
38	42789,09310	46383,25410	0,30	1,40	0,10	0,42	0,0500	0,0400	139,7	139,6	15,5	25,7	3	3	-86,76	96,76	4,0	3,0	1328,98	1060,16	1,05	2,32	0,20	0,21
39	42777,67780	46383,17730	0,30	1,40	0,10	0,42	0,0500	0,0400	139,7	139,6	15,5	25,7	3	3	-86,76	96,76	4,0	3,0	1328,98	1060,16	1,05	2,32	0,20	0,21
40	42774,17110	46382,21140	0,20	1,40	0,08	0,28	0,0160	0,0224	139,4	139,3	16,1	19,2	2	2	-4,74	41,45	1,0	1,0	1274,11	1051,71	1,86	1,36	0,20	0,21
41	42784,88770	46382,99870	0,23	1,25	0,10	0,28	0,0230	0,0357	140,4	140,4	28,1	23,1	3	3	-29,42	12,80	8,0	3,0	1087,70	897,97	1,78	2,02	0,20	0,21
42	42784,88770	46377,77990	0,40	1,30	0,13	0,52	0,0290	0,1738	137,9	137,9	17,7	13,1	3	3	-101,13	10,15	478,00	1,0	1070,13	1070,13	1,45	0,37	0,20	0,21
43	42784,00700	46377,44470	0,15	0,30	0,67	0,50	0,0055	0,0847	137,9	137,9	27,0	27,1	3	3	-58,71	99,79	2,0	0,0	734,51	728,93	2,62	1,58	0,20	0,21
44	42785,46880	46377,42220	0,30	1,10	0,10	0,30	0,1000	0,0175	137,9	137,9	27,0	27,1	3	3	-58,71	99,79	2,0	0,0	734,51	728,93	2,62	1,58	0,20	0,21
45	42802,25330	46386,10310	0,15	0,70	0,16	0,11	0,0240	0,0168	142,0	141,9	31,9	31,9	9	9	-11,01	21,11	1,0	2,0	987,11	658,84	1,24	2,54	0,20	0,21
46	42809,30100	46381,70920	0,20	1,40	0,19	0,29	0,0800	0,0551	142,0	141,6	28,0	36,9	9	9	-218,06	-18,97	3,0	88,0	724,04	310,70	4,26	9,15	0,20	0,21
47	42804,11410	46382,11750	0,24	1,30	0,26	0,30	0,0624	0,0996	142,1	141,9	28,0	36,9	9	9	-86,54	10,83	1,0	1,0	865,54	698,43	1,03	1,20	0,20	0,21
48	42847,10200	46379,30610	0,25	2,20	0,05	0,55	0,0125	0,0275	141,1	141,6	21,6	36,6	9	9	-60,12	-14,86	2,0	2,0	970,91	488,94	1,60	2,97	0,20	0,21
49	42807,47080	46383,92760	0,17																					

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz

(Tabuço)

RAVINAS	X	Y	Largura (L)	Comprimento	Profundidade	Área (L ² C)	Secção (S) - (L ² PI ² m)	Voluma erosão (L ³ C)	Altitude (R=20m)	Altitude (R=20m)	Declive (R=20m)	Declive (R=20m)	Exposição (R=20m)	Exposição (R=20m)	Curvatura (R=20m)	Curvatura (R=20m)	Flowacc (R=20m)	Flowacc (R=20m)	ITH (R=20m)	ITH (R=20m)	LS (R=20m)	LS (R=20m)	FC	FP
1	42789,82200	105341,50800	0,60	1,40	0,30	0,96	0,2880	122,0	122,1	29,3	22,2	3	3	-5,56	86,37	2,0	2,0	583,18	811,64	5,25	1,83	0,20	0,21	
2	42773,54750	105350,41440	0,30	3,50	0,32	1,05	0,0960	0,3360	124,1	124,2	19,6	14,2	3	3	-11,23	34,03	1,0	0,0	943,48	1331,18	4,09	0,82	0,20	0,21
3	42774,50240	105349,44160	0,50	3,50	0,30	1,75	0,1500	0,5250	124,2	124,1	13,6	18,2	3	3	-11,23	48,21	53,0	0,0	108,47	1024,97	2,61	1,54	0,20	0,21
4	42775,94630	105348,76150	0,43	3,00	0,37	1,35	0,1950	0,4950	124,1	124,2	20,6	16,9	3	3	-11,24	63,68	2,0	37,0	879,20	1107,13	2,71	3,31	0,20	0,21
5	42776,20730	105347,90200	0,33	3,00	0,38	1,05	0,1330	0,3990	124,2	124,2	21,4	19,7	3	3	41,92	54,00	2,0	57,0	860,76	939,96	2,86	4,06	0,20	0,21
6	42776,81020	105347,38860	0,68	3,05	0,40	2,07	0,2720	0,8296	124,2	124,1	23,5	33,2	3	3	-30,00	155,03	1,0	4,0	774,95	513,32	2,45	3,11	0,20	0,21
7	42777,91800	105346,58850	0,56	2,90	0,43	1,62	0,2408	0,6983	124,2	124,2	23,2	26,2	3	3	114,67	82,57	3,0	2,0	786,45	683,44	2,17	2,13	0,20	0,21
8	42778,35710	105345,72200	0,44	3,20	0,40	1,32	0,1640	0,4800	124,3	124,3	17,5	16,6	3	3	190,01	76,77	1,0	1,0	1068,64	1133,47	3,26	1,23	0,20	0,21
9	42784,07670	105339,14120	0,50	3,04	0,33	1,52	0,1650	0,5016	124,5	124,5	24,4	25,3	3	3	742,20	713,53	2,40	2,06	0,20	0,21				
10	42790,87340	105335,63800	0,80	2,00	0,30	1,60	0,3400	0,4800	127,8	128,7	9,7	11,7	3	3	49,32	53,11	1,0	1,0	2036,03	1683,08	1,68	0,89	0,20	0,18
11	42776,80710	105335,79050	0,63	4,00	0,40	2,52	0,2520	1,0080	127,6	127,6	15,2	15,1	3	3	76,18	19,71	2,0	1,0	1270,32	1281,41	1,28	1,19	0,20	0,18
12	42779,12390	105340,55940	0,40	4,00	0,30	1,60	0,1200	0,7200	127,6	127,6	11,6	10,4	3	3	135,65	94,74	4991,0	0,0	1090,29	1875,87	1,04	0,84	0,20	0,21
13	42772,85180	105342,29550	0,80	2,80	0,30	2,24	0,2400	0,6720	127,3	127,3	32,1	32,4	3	3	26,76	-3,61	4,0	146,6	540,09	543,77	3,22	4,11	0,20	0,21
14	42770,89940	105345,17490	0,40	2,60	0,40	1,04	0,1800	0,4160	127,2	127,1	34,7	34,1	3	3	100,00	-17,72	1,0	3,0	497,42	508,42	3,30	2,80	0,20	0,21
15	42768,69830	105335,10830	0,39	3,60	0,30	1,40	0,1170	0,4212	130,4	130,5	19,6	11,0	4	4	164,76	89,79	0,0	0,0	90,82	1813,35	3,01	0,72	0,20	0,21
16	42770,59360	105332,11090	0,50	3,60	0,40	1,80	0,2000	0,7200	130,5	130,5	11,4	10,8	2	3	-12,97	62,74	3,0	1,0	1756,43	1860,50	0,98	0,75	0,20	0,18
17	42774,04050	105327,84000	0,68	3,40	0,30	2,31	0,2040	0,6936	130,6	130,6	13,5	22,3	4	4	67,29	193,22	6,0	0,0	1474,60	864,81	3,35	1,42	0,20	0,21
18	42768,34000	105304,20900	0,64	2,06	0,30	1,32	0,1920	0,3953	131,8	131,8	10,0	10,2	3	3	116,42	50,01	1,0	1,0	2026,17	1983,69	1,33	0,76	0,20	0,21
19	42768,46570	105303,03120	0,96	2,06	0,40	1,98	0,3840	0,7910	131,7	131,7	16,8	11,3	3	3	-52,80	18,01	3,0	39,0	1185,05	1782,02	4,49	1,87	0,20	0,18
20	42796,45560	105290,77030	0,38	2,40	0,40	0,91	0,1520	0,3648	134,2	134,2	11,2	18,7	2	3	124,13	72,04	0,0	1,0	1833,41	1073,36	0,96	1,31	0,20	0,18
21	42774,81200	105312,89960	0,80	3,00	0,40	2,40	0,4800	1,4400	136,3	136,3	25,6	26,4	2	2	74,50	4,27	1,0	73,0	1016,23	440,05	2,38	3,94	0,20	0,21
22	42724,11580	105354,85350	0,90	2,80	0,50	2,52	0,4500	1,2600	133,4	133,2	29,4	36,2	2	2	39,75	9,37	1193,0	3,0	635,07	493,64	7,16	3,09	0,20	0,21
23	42705,17800	105347,26090	0,70	2,80	0,50	1,96	0,3500	0,9800	136,6	136,6	12,8	27,3	9	9	-4,32	160,64	2,0	43,0	1629,15	716,09	2,23	5,44	0,20	0,21
24	42799,98140	105274,88370	0,30	3,30	0,44	0,99	0,1320	0,4356	138,2	138,1	19,1	21,3	2	2	42,42	-5,80	2,0	2,0	1078,43	997,60	1,68	1,73	0,20	0,21
25	42847,54480	105346,21870	1,10	2,20	0,30	0,40	0,3300	0,1320	142,1	141,8	18,6	34,5	9	9	78,11	-22,45	1,0	1,0	535,52	519,21	3,26	2,99	0,20	0,21
26	42841,96750	105273,24820	0,60	3,80	0,30	2,28	0,1800	0,6840	142,0	142,0	15,2	20,4	9	9	176,70	79,86	2,0	1,0	1416,34	1034,26	1,22	1,55	0,20	0,21
27	42833,49920	105266,11170	0,80	3,80	0,40	3,04	0,3200	1,2160	141,1	141,1	28,6	35,3	9	9	-163,00	-104,01	25,0	10,0	704,66	539,78	4,47	4,44	0,20	0,21
28	42808,11780	105263,46290	0,30	2,90	0,30	0,87	0,0900	0,2610	140,7	140,6	27,9	29,6	2	3	104,52	54,82	1,0	10,0	721,71	671,80	3,41	3,78	0,20	0,21
29	42801,18330	105263,46290	0,30	2,90	0,30	0,87	0,0900	0,2610	140,7	140,6	27,9	29,6	2	3	115,42	54,82	1,0	10,0	758,81	579,23	3,41	3,78	0,20	0,21
30	42800,36740	105264,10140	1,40	2,50	0,50	3,50	0,7000	1,7500	140,2	140,2	22,7	32,1	3	3	96,86	70,02	10,0	1,0	909,39	606,61	2,85	2,16	0,20	0,21
31	42767,24210	105289,48860	1,00	3,40	0,60	4,04	0,6000	2,0400	139,7	139,6	27,9	31,2	3	3	63,55	27,93	10,0	2,0	662,59	625,45	3,54	2,54	0,20	0,21
32	42854,99780	105285,86880	0,70	3,70	0,50	2,59	0,3500	1,2950	145,1	144,8	12,4	35,1	9	9	150,38	92,02	1,0	1,0	1788,69	558,53	0,94	2,38	0,20	0,21
33	42734,83130	105476,12680	0,60	4,20	0,30	6,72	0,4200	0,7200	147,1	147,1	29,6	30,7	3	3	117,42	31,61	0,0	0,0	1187,60	1139,66	0,30	0,65	0,20	0,21
34	42721,54390	105475,84350	0,60	3,90	0,30	1,43	0,1500	0,4350	87,1	87,2	29,3	28,8	3	3	-71,30	85,59	3,0	2,0	423,99	429,79	3,02	2,24	0,20	0,21
35	42722,83350	105474,43000	0,85	3,90	0,50	3,32	0,4250	1,6575	87,1	87,0	25,1	30,1	3	3	-0,65	82,81	3,0	2,0	503,03	406,30	2,63	2,45	0,20	0,21
36	42734,25360	105473,58140	0,70	2,60	0,70	1,82	0,4900	1,2740	87,3	87,3	22,5	22,4	3	3	41,14	19,05	3,0	1,0	570,15	573,49	2,16	1,66	0,20	0,21
37	42725,76850	105473,77550	0,47	2,20	0,30	1,03	0,1410	0,3102	87,1	86,9	24,4	26,6	2	2	45,43	-7,47	0,0	0,0	519,86	469,81	2,56	2,99	0,20	0,21
38	42727,68330	105471,43990	0,83	1,90	0,80	1,54	0,6640	1,2616	86,4	86,3	25,6	24,6	2	2	-20,44	-4,12	31393,0	46984,0	441,20	431,95	3,52	10,50	0,20	0,21
39	42728,58780	105461,53340	0,80	4,20	0,62	3,36	0,4960	2,0832	90,8	90,8	28,7	27,8	3	3	-93,80	-11,09	11,0	2,0	445,20	466,03	3,42	2,22	0,20	0,21
40	42723,45560	105464,23040	1,10	4,20	0,50	4,62	0,5500	2,3100	90,9	90,9	20,4	20,3	3	3	-66,66	30,36	3,0	3,0	660,87	666,79	4,66	1,86	0,20	0,21
41	42721,13920	105464,90550	0,70	4,40	0,40	3,08	0,2800	1,2320	91,3	91,3	6,7	21,0	2	3	-9,92	67,53	0,0	1,0	2113,18	645,66	0,57	1,60	0,20	0,21
42	42713,61120	105465,21870	0,60	4,40	0,40	6,40	0,6000	2,4000	91,4	91,4	26,8	30,7	3	3	164,79	81,16	0,0	1,0	141,42	431,69	1,64	2,99	0,20	0,21
43	42713,53870	105471,28960	0,40	4,40	0,30	1,76	0,1200	0,5280	90,9	90,9	26,3	27,9	3	3	-3,32	41,61	0,0	2,0	480,08	466,07	2,82	2,13	0,20	0,21
44	42722,95550	105448,62710	1,08	4,00	0,40	4,32	0,4120	1,7280	96,2	96,2	22,7	28,2	3	3	112,63	17,11	2,0	33,0	623,92	465,37	4,46	5,15	0,20	0,21
45	42720,79820	105450,72330	1,20	4,00	0,40	4,80	0,4800	1,9200	96,1	96,1	30,0	31,2	3	3	-7,44	32,90	4,0	2,0	451,49	429,49	2,52	2,43	0,20	0,21
46	42716,95500	105445,82920	1,00	2,50	0,20	2,50	0,2000	0,8000	95,4	95,4	23,6	24,6	3	3	99,10	53,05	2,0	2,0	597,64	525,05	2,61	2,98	0,20	0,21
47	42716,36570	105455,60070	1,00	3,00	0,60	1,00	0,6000	1,8000	96,2	95,9	28,0	32,8	3	3	131,68	87,87	4,0	2,0	485,53	402,75	3,05	2,62	0,20	0,21
48	42715,29500	105455,87730	0,60	3,00	0,40	1,80	0,2400	0,7200	96,2	96,1	22,4	27,1	3	3	11,75	53,52	2,0	2,0	630,97	509,79	2,12	2,17	0,20	0,21
49	42710,33550	105461,09850	1,80	4,00	0,40	7,20	0,7200	2,8800	96,6	95,9	26,3	29,4	3											

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuço)

Anexo 2

Testes de Significância Estatística – Sulcos, R = 20cm

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1 A distribuição de ITH_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2 A distribuição de ITH_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
3 A distribuição de TALUDES_BA é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
4 A distribuição de TALUDES_BA é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
5 A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,001	Rejeitar a hipótese nula.
6 A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,015	Rejeitar a hipótese nula.
7 A distribuição de SLOPE_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,001	Rejeitar a hipótese nula.
8 A distribuição de SLOPE_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,002	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
9 A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,003	Rejeitar a hipótese nula.
10 A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,229	Reter a hipótese nula.
11 A distribuição de LS_20D0 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,493	Reter a hipótese nula.
12 A distribuição de LS_20D0 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,211	Reter a hipótese nula.
13 A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
14 A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,084	Reter a hipótese nula.
15 A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,042	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
16 A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,080	Reter a hipótese nula.
17 A distribuição de ASPECT_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,569	Reter a hipótese nula.
18 A distribuição de ASPECT_20 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,138	Reter a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Testes de Significância Estatística – Sulcos, R = 40cm

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1 A distribuição de ITH_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2 A distribuição de ITH_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
3 A distribuição de H_ALT_TAL40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,019	Rejeitar a hipótese nula.
4 A distribuição de H_ALT_TAL40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,808	Reter a hipótese nula.
5 A distribuição de FLOW_ACC-40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,067	Reter a hipótese nula.
6 A distribuição de FLOW_ACC-40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,001	Rejeitar a hipótese nula.
7 A distribuição de SLOPE_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
8 A distribuição de SLOPE_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
9 A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,002	Rejeitar a hipótese nula.
10 A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
11 A distribuição de LS_40D0 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
12 A distribuição de LS_40D0 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
13 A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
14 A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,120	Reter a hipótese nula.
15 A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,191	Reter a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese			
Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
16 A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,032	Rejeitar a hipótese nula.
17 A distribuição de ASPECT_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,011	Rejeitar a hipótese nula.
18 A distribuição de ASPECT_40 é a mesma entre as categorias de BIN	Teste Kolmogorov-Smirnov de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuço)

Testes de Significância Estatística – Ravinas, R = 20cm

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de ITH_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A distribuição de ITH_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
3	A distribuição de TALUDES_BA é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
4	A distribuição de TALUDES_BA é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
5	A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,702	Rejeitar a hipótese nula.
6	A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,912	Rejeitar a hipótese nula.
7	A distribuição de SLOPE_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,078	Rejeitar a hipótese nula.
8	A distribuição de SLOPE_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,071	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
9	A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,012	Rejeitar a hipótese nula.
10	A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,288	Rejeitar a hipótese nula.
11	A distribuição de LS_20D0 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,041	Rejeitar a hipótese nula.
12	A distribuição de LS_20D0 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,324	Rejeitar a hipótese nula.
13	A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,002	Rejeitar a hipótese nula.
14	A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,448	Rejeitar a hipótese nula.
15	A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,111	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
16	A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,301	Rejeitar a hipótese nula.
17	A distribuição de ASPECT_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,040	Rejeitar a hipótese nula.
18	A distribuição de ASPECT_20 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,008	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Testes de Significância Estatística – Ravinas, R = 40cm

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de ITH_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
2	A distribuição de ITH_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
3	A distribuição de H_ALT_TAL é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
4	A distribuição de H_ALT_TAL é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,005	Rejeitar a hipótese nula.
5	A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,013	Rejeitar a hipótese nula.
6	A distribuição de FLOW_ACC é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,003	Rejeitar a hipótese nula.
7	A distribuição de SLOPE_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
8	A distribuição de SLOPE_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
9	A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,007	Rejeitar a hipótese nula.
10	A distribuição de FP40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
11	A distribuição de LS_40D0 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
12	A distribuição de LS_40D0 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.
13	A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,001	Rejeitar a hipótese nula.
14	A distribuição de FAT_C40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,166	Rejeitar a hipótese nula.
15	A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,244	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
16	A distribuição de CURVATURE é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,055	Rejeitar a hipótese nula.
17	A distribuição de ASPECT_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,017	Rejeitar a hipótese nula.
18	A distribuição de ASPECT_40 é a mesma entre as categorias de BIN.	Teste Kolmogorov-Smirnov de Amostras Independentes	,000	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuaço)

Anexo 3

Cenário 1: Sulcos, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	0,153	1,046	0,021	0,884	-1,897	2,202			
ITH_SULCOS20	0,002	0,001	11,005	0,001	0,001	0,003	1,002	1,001	1,003
FLOWACC_SULCOS20	0,001	0,001	0,938	0,333	-0,001	0,002	1,001	0,999	1,002
TAL_SULCOS_20	-0,123	19,220	0,000	0,995	-37,794	37,548	0,884	0,000	20264370557776200,000
CURV_SULCOS_20	0,000	0,001	0,085	0,771	-0,002	0,002	1,000	0,998	1,002
LS_SULCOS_20	-0,597	0,106	31,802	< 0,0001	-0,804	-0,389	0,551	0,447	0,677
FC_SULCOS	15,233	3,568	18,228	< 0,0001	8,240	22,226	4127094,007	3789,493	4494770876,815
FP_SULCOS	-6,749	2,083	10,492	0,001	-10,832	-2,665	0,001	0,000	0,070
EXPO20	-0,002	0,001	3,856	0,050	-0,004	0,000	0,998	0,996	1,000

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-0,15269 + 0,00169 * \text{ITH} + 0,00082 * \text{FLOWACC} - 0,12313 * \text{TAL} - 0,00028 * \text{CURV} - 0,59679 * \text{LS} + 15,23308 * \text{FC} - 6,74857 * \text{FP} - 0,00214 * \text{EXPO}))$$

Cenário 2: Sulcos, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	-0,047	1,016	0,002	0,963	-2,039	1,944			
ITH_SULCOS20	0,002	0,000	10,028	0,002	0,001	0,003	1,002	1,001	1,003
FLOWACC_SULCOS20	0,001	0,001	1,053	0,305	-0,001	0,003	1,001	0,999	1,003
TAL_SULCOS_20	-0,126	19,215	0,000	0,995	-37,786	37,534	0,882	0,000	19990351715295100,000
CURV_SULCOS_20	0,000	0,001	0,063	0,802	-0,002	0,002	1,000	0,998	1,002
LS_SULCOS_20	-0,589	0,104	32,034	< 0,0001	-0,793	-0,385	0,555	0,453	0,680
FC_SULCOS	15,091	3,512	18,465	< 0,0001	8,208	21,974	3580174,253	3669,377	3493139584,501
FP_SULCOS	-6,777	2,054	10,891	0,001	-10,802	-2,752	0,001	0,000	0,064

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-0,04713 + 0,00155 * \text{ITH} + 0,00087 * \text{FLOWACC} - 0,12601 * \text{TAL} - 0,00024 * \text{CURV} - 0,58899 * \text{LS} + 15,09092 * \text{FC} - 6,77697 * \text{FP}))$$

Cenário 3: Sulcos, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	-1,535	0,352	18,969	< 0,0001	-2,226	-0,844			
ITH_SULCOS20	0,002	0,000	25,408	< 0,0001	0,001	0,003	1,002	1,001	1,003
TAL_SULCOS_20	-0,121	12,813	0,000	0,992	-25,233	24,991	0,886	0,000	71374825683,845
FLOWACC_SULCOS2	0,000	0,000	1,078	0,299	0,000	0,001	1,000	1,000	1,001

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-1,53490 + 0,00210 * \text{ITH} - 0,12084 * \text{TAL} + 0,00047 * \text{FLOWACC}))$$

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuaço)

Cenário 1: Sulcos, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	0,708	0,776	0,831	0,362	-0,814	2,230			
ITH_SULCOS40	-0,001	0,000	31,597	< 0,0001	-0,001	-0,001	0,999	0,999	0,999
FLOWACC_SULCOS4	0,000	0,000	0,595	0,441	-0,001	0,000	1,000	0,999	1,000
TAL_SULCOS_40	-0,002	0,001	13,633	0,000	-0,003	-0,001	0,998	0,997	0,999
CURV_SULCOS_40	0,009	0,002	26,145	< 0,0001	0,006	0,013	1,009	1,006	1,013
LS_SULCOS_40	0,360	0,092	15,459	< 0,0001	0,181	0,539	1,433	1,198	1,715
FC_SULCOS	10,825	2,684	16,271	< 0,0001	5,565	16,085	50275,306	261,223	9676036,021
FP_SULCOS	-11,675	2,764	17,846	< 0,0001	-17,092	-6,258	0,000	0,000	0,002
EXPO40	-0,003	0,001	8,887	0,003	-0,004	-0,001	0,997	0,996	0,999

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-0,70789 - 0,00090 * \text{ITH} - 0,00026 * \text{FLOWACC} - 0,00218 * \text{TAL} + 0,00913 * \text{CURV} + 0,35999 * \text{LS} + 10,82527 * \text{FC} - 11,67505 * \text{FP} - 0,00256 * \text{EXPO})))$$

Cenário 2: Sulcos, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	0,319	0,748	0,182	0,670	-1,148	1,786			
ITH_SULCOS40	-0,001	0,000	32,474	< 0,0001	-0,001	-0,001	0,999	0,999	0,999
FLOWACC_SULCOS40	0,000	0,000	0,759	0,384	-0,001	0,000	1,000	0,999	1,000
TAL_SULCOS_40	-0,002	0,001	14,002	0,000	-0,003	-0,001	0,998	0,997	0,999
CURV_SULCOS_40	0,009	0,002	26,082	< 0,0001	0,006	0,013	1,009	1,006	1,013
LS_SULCOS_40	0,344	0,091	14,207	0,000	0,165	0,522	1,410	1,179	1,686
FC_SULCOS	11,052	2,678	17,038	< 0,0001	5,805	16,300	63100,373	331,790	12000547,220
FP_SULCOS	-11,778	2,643	19,856	< 0,0001	-16,959	-6,598	0,000	0,000	0,001

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-0,31885 - 0,00090 * \text{ITH} - 0,00028 * \text{FLOWACC} - 0,00228 * \text{TAL} + 0,00911 * \text{CURV} + 0,34368 * \text{LS} + 11,05248 * \text{FC} - 11,77826 * \text{FP})))$$

Cenário 3: Sulcos, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	2,673	0,501	28,511	< 0,0001	1,692	3,654			
ITH_SULCO	-0,001	0,000	40,818	< 0,0001	-0,001	-0,001	0,999	0,999	0,999
LS_SULCO	0,151	0,064	5,498	0,019	0,025	0,277	1,163	1,025	1,319
FP_SULCO	-8,243	1,865	19,527	< 0,0001	-11,899	-4,587	0,000	0,000	0,010
EXPO40	-0,003	0,001	10,662	0,001	-0,004	-0,001	0,997	0,996	0,999

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-2,67313 - 0,00103 * \text{ITH} + 0,15073 * \text{LS} - 8,24294 * \text{FP} - 0,00251 * \text{EXPO})))$$

Cenário 1: Ravinas, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	1,282	1,059	1,464	0,226	-0,795	3,358			
ITH_RAVINAS20	0,000	0,000	0,069	0,793	-0,001	0,001	1,000	0,999	1,001
FLOWACC_RAVINAS20	0,000	0,000	0,383	0,536	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
TAL_RAVINAS20	-0,001	0,000	7,360	0,007	-0,001	0,000	0,999	0,999	1,000
CURV_RAVINAS20	0,000	0,000	0,976	0,323	0,000	0,001	1,000	1,000	1,001
LS_RAVINAS20	-0,762	0,132	33,450	< 0,0001	-1,020	-0,504	0,467	0,360	0,604
FC_RAVINAS	8,467	4,184	4,096	0,043	0,267	16,668	4756,181	1,306	17322335,598
FP_RAVINAS	0,045	1,814	0,001	0,980	-3,511	3,600	1,046	0,030	36,606
EXPO20	-0,001	0,001	0,659	0,417	-0,003	0,001	0,999	0,997	1,001

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(1,28168 + 0,00009 * \text{ITH} + 0,00006 * \text{FLOWACC} - 0,00051 * \text{TAL} * \text{CURV} - 0,76218 * \text{LS} + 8,46720 * \text{FC} + 0,04471 * \text{FP} - 0,00097 * \text{EXPO})))$$

Cenário 2: Ravinas, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	1,235	1,007	1,505	0,220	-0,738	3,208			
ITH_RAVINAS20	0,000	0,000	0,150	0,698	-0,001	0,001	1,000	0,999	1,001
TAL_RAVINAS20	-0,001	0,000	8,063	0,005	-0,001	0,000	0,999	0,999	1,000
LS_RAVINAS20	-0,691	0,123	31,342	< 0,0001	-0,933	-0,449	0,501	0,393	0,638
FC_RAVINAS	7,634	3,957	3,721	0,054	-0,123	15,390	2067,051	0,885	4830267,393
FP_RAVINAS	-0,138	1,765	0,006	0,938	-3,597	3,322	0,871	0,027	27,722
EXPO20	-0,001	0,001	0,770	0,380	-0,003	0,001	0,999	0,997	1,001

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(1,23501 + 0,00013 * \text{ITH} - 0,00052 * \text{TAL} - 0,69107 * \text{LS} + 7,63388 * \text{FC} - 0,13756 * \text{FP} - 0,00103 * \text{EXPO})))$$

Cenário 3: Ravinas, R20

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	-0,820	0,322	6,469	0,011	-1,451	-0,188			
ITH_RAVINAS20	0,001	0,000	10,961	0,001	0,000	0,002	1,001	1,000	1,002
TAL_RAVINAS20	-0,001	0,000	13,541	0,000	-0,001	0,000	0,999	0,999	1,000
EXPO20	-0,002	0,001	2,631	0,105	-0,004	0,000	0,998	0,996	1,000

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(-0,81961 + 0,00114 * \text{ITH_RAVINAS20} - 0,00072 * \text{TAL_RAVINAS20} - 0,00167 * \text{EXPO20})))$$

Contributo para a modelação da suscetibilidade à erosão por sulcos e ravinas na Quinta de S. Luiz
(Tabuaço)

Cenário 1: Ravinas, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	2,882	1,280	5,072	0,024	0,374	5,390			
ITH_RAVINAS40	-0,002	0,000	33,722	< 0,0001	-0,002	-0,001	0,998	0,998	0,999
FLOWACC_RAVINAS40	0,000	0,000	0,051	0,821	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
TAL_RAVINAS40	-0,003	0,001	10,742	0,001	-0,004	-0,001	0,997	0,996	0,999
CURV_RAVINAS40	0,002	0,002	1,491	0,222	-0,001	0,005	1,002	0,999	1,005
LS_RAVINAS40	0,013	0,095	0,019	0,891	-0,173	0,199	1,013	0,841	1,220
FC_RAVINAS	8,552	3,952	4,682	0,030	0,806	16,298	5175,006	2,238	11965830,588
FP_RAVINAS	-11,751	4,142	8,049	0,005	-19,869	-3,633	0,000	0,000	0,026
EXPO40	-0,003	0,001	5,833	0,016	-0,005	-0,001	0,997	0,995	0,999

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(2,88187-0,00152*ITH+3,45670E-6*FLOWACC-0,00281*TAL+0,00199*CURV+0,01302*LS+8,55160*FC-11,75110*FP-0,00284*EXPO)))$$

Cenário 2: Ravinas, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	3,120	1,256	6,175	0,013	0,659	5,581			
ITH_RAVINAS40	-0,002	0,000	35,752	< 0,0001	-0,002	-0,001	0,998	0,998	0,999
TAL_RAVINAS40	-0,003	0,001	11,631	0,001	-0,004	-0,001	0,997	0,996	0,999
LS_RAVINAS40	0,001	0,089	0,000	0,995	-0,174	0,175	1,001	0,840	1,191
FC_RAVINAS	8,251	3,748	4,846	0,028	0,904	15,598	3831,500	2,471	5941922,235
FP_RAVINAS	-12,067	4,228	8,147	0,004	-20,354	-3,781	0,000	0,000	0,023
EXPO40	-0,003	0,001	6,077	0,014	-0,005	-0,001	0,997	0,995	0,999

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(3,11994-0,00154*ITH-0,00263*TAL+0,00059*LS+8,25101*FC-12,06718*FP-0,00288*EXPO)))$$

Cenário 3: Ravinas, R40

Model parameters (Variable BIN):

Source	Value	Standard error	Wald Chi-Square	Pr > Chi²	Wald Lower bound (95%)	Wald Upper bound (95%)	Odds ratio	Odds ratio Lower bound (95%)	Odds ratio Upper bound (95%)
Intercept	4,610	0,991	21,631	< 0,0001	2,668	6,553			
ITH_RAVI	-0,002	0,000	36,711	< 0,0001	-0,002	-0,001	0,998	0,998	0,999
FLOWACC	0,000	0,000	0,038	0,846	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
TAL_RAVI	-0,003	0,001	13,081	0,000	-0,004	-0,001	0,997	0,996	0,999
LS_RAVIN	-0,023	0,087	0,069	0,792	-0,193	0,148	0,977	0,824	1,159
FP_RAVIN	-11,081	3,890	8,115	0,004	-18,705	-3,457	0,000	0,000	0,032
EXPO40	-0,003	0,001	6,499	0,011	-0,005	-0,001	0,997	0,995	0,999

Equation of the model (Variable BIN):

$$\text{Pred(BIN)} = 1 / (1 + \exp(-(4,61049-0,00162*ITH-2,89303E-6*FLOWACC-0,00289*TAL-0,02292*LS-11,08132*FP-0,00295*EXPO)))$$